

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์



3 1001 00382383 9

การทดสอบสมรรถนะของอินดักชันมอเตอร์

INDUCTION PERFORMANCE TESTING



นางสาวณชากาญจน์ อ้นสาย รหัส 49364035

นายเอกพจน์ เดชบุญ รหัส 49364394

ชื่อผู้ลงทะเบียน	วิศวกรรมศาสตร์
ชั้นเรียน	12 ก.ย. 2556
เลขทะเบียน	16434394
เลขเรียงกลุ่ม	ฟร
ชื่อผู้ลงทะเบียน	ธน 119 ก

2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2552



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การทดสอบสมรรถนะของอินคักซ์นมอเตอร์  
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวชลาภา ญจน์ อ้นสาย รหัส 49364035  
นายเอกพจน์ เคนบุญ รหัส 49364394  
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2552

.....  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ  
(ดร.สุพรรณิกา วัฒนะ)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การทดสอบสมรรถนะของอินคักชั่นมอเตอร์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวณชากาญจน์	อินสาย	รหัส 49364035
	นายเอกพจน์	เดชบุญ	รหัส 49364394
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2552		

#### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอโครงการการทดสอบสมรรถนะของอินคักชั่นมอเตอร์ โดยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และเสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่มอเตอร์ทำงาน เป็นปัญหาที่ส่งผลให้มอเตอร์สูญเสียพลังงานและสมรรถนะในการทำงาน ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและทดลองการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และเสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่มอเตอร์ทำงาน โดยจะแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง คือ 1.เสียงที่เกิดจากมอเตอร์ขณะทำงาน 2.การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยแต่ละการทดลองได้เพิ่มความเสียหายให้แก่โรเตอร์ ที่ 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์ และ 5 บาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเพิ่มสภาวะทางกลหรือสภาวะโหลดให้แก่มอเตอร์ในแต่ละการทดลองที่ 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ผลจากการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่ายิ่งเกิดความเสียหายของโรเตอร์มาก การสั่นสะเทือนและการเกิดเสียงก็จะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อมีโหลดเพิ่มมากขึ้น การสั่นสะเทือนและการเกิดเสียงก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

<b>Project title</b>	Induction Performance Testing		
<b>Name</b>	Miss. Nachakan	Onsai	ID. 49364035
	Mr. Eagkapot	Dehboon	ID. 49364394
<b>Project advisor</b>	Assistant Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.		
<b>Major</b>	Electrical Engineering		
<b>Department</b>	Electrical and Computer Engineering		
<b>Academic year</b>	2009		

---

### Abstract

This thesis is the presentation of the Induction performance testing project by motor's vibration and sound is occurring while the motor is operating, that problem result the power and performance of motor is losen.

Therefore, this project was to study and to test motor's vibration and sound is occurring while the motor is operating that divided to experiment for 2 type is 1) sound is occurring while the motor is operating 2) motor's vibration and each experiment will increase the damage to rotor at Bar 1, Bar 2, Bar 3, Bar 4 and Bar 5. In addition to increase Mechanical condition and Load conditions to the motor in each the experiment at 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%.

The experiment can be analyze that the rotor was more damaged, the sound increased and the load increase, the vibration and the sound increase too.



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเรื่องการทดสอบสมรรถนะของอินดักชันมอเตอร์ สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือรวมทั้งข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์ในการทำโครงการนี้จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช ขอขอบคุณคุณอาจารย์ทุกท่านที่ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้ความรู้ตลอดการเรียนที่ผ่านมาและเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน รวมทั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการครั้งนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งานจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

นางสาวณชากาญจน์ อ้นสาย

นายเอกพงษ์

เดชบุญ

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท ..... ก	
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค	
กิตติกรรมประกาศ..... ง	
สารบัญ ..... จ	
สารบัญตาราง ..... ฉ	
สารบัญรูป ..... ช	
บทที่ 1 บทนำ ..... 1	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ ..... 1	
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ ..... 2	
1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 2	
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน ..... 2	
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ ..... 3	
1.6 งบประมาณ..... 3	
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี ..... 4	
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ ..... 4	
2.1.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ..... 4	
2.1.2 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ..... 6	
2.1.3 สลิป (Slip,S)..... 7	
2.2 โหลดของมอเตอร์ ..... 9	
2.3 การประเมิน โหลดของมอเตอร์ ..... 10	
2.4 เสียง ..... 11	
2.5 เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level Meter) ..... 12	
2.5.1 ไมโครโฟน (Microphone)..... 13	
2.5.2 เครื่องวัดระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ (Frequency Weighting Networks)..... 14	

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3 ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier).....	15
2.5.4 ตัวตรวจวัดสัญญาณเสียง(Sound Level Meter Detectors) .....	15
2.5.5 ตัวแสดงผลการวัดสัญญาณเสียง(Sound Level Meter Display).....	15
2.6 เครื่องวิเคราะห์ความถี่เสียง (Sound Frequency Analysis).....	15
2.7 เครื่องบันทึก .....	17
2.8 อิทธิพลที่มีผลต่อการการวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม .....	17
2.9 การสั่นสะเทือน .....	19
2.9.1 ความถี่ (Frequency).....	19
2.9.2 แอมพลิจูด (Amplitude).....	20
2.9.3 ความเร็ว (Velocity) .....	22
2.9.4 ความเร่ง (Acceleration).....	22
2.10 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน .....	21
2.10.1 เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion).....	21
2.10.2 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion) .....	24
2.11 พลศาสตร์ของเครื่องจักร .....	25
2.11.1 มวล ความมั่นคงแข็งแรง และความหน่วง .....	25
2.12 ชนิดของการสั่นสะเทือน .....	26
2.12.1 การสั่นแบบอิสระ โดยไม่มีความหน่วง (Free Vibration – Undamping).....	26
2.12.2 การสั่นแบบอิสระ โดยมีความหน่วง (Free Vibration – Damped).....	28
2.12.3 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยไม่มีความหน่วง(Forced Vibration – Undamped)30	
2.12.4 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยมีความหน่วง (Forced Vibration – Damped) .....	31
2.13 สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการวัดการสั่นสะเทือน.....	33
2.13.1 ผลกระทบจากอุณหภูมิ .....	33
2.13.2 ผลกระทบจากความชื้นรอบข้าง .....	34
2.13.3 ผลกระทบจากการแผ่รังสี .....	34
2.13.4 ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก .....	34

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษาและออกแบบการทดลอง .....	35
3.1 อุปกรณ์การทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน .....	36
3.1.1 อุปกรณ์การทดลองการสั่นสะเทือน.....	36
3.1.2 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.1.3 วิธีทดสอบและลักษณะการติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือน .....	38
3.1.4 ทำการทดสอบเพื่อดูค่าแอมพลิจูดกราฟสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนสภาวะ ต่างๆ.....	38
3.1.5 การทดสอบเพื่อดูค่าแอมพลิจูดกราฟ.....	38
3.2 อุปกรณ์การทดลองของเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน .....	38
3.2.1 อุปกรณ์การทดลองของเสียง.....	38
3.2.2 อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์เสียง .....	39
3.2.3 การออกแบบการทดลองของเสียง .....	39
3.2.4 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ภาระทางกลที่ต่างกัน .....	40
3.3 คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์.....	40
บทที่ 4 ผลการการทดลอง .....	41
4.1 ผลการทดลองที่ 1 ความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ .....	41
4.2 ผลการทดลองที่ 2 เสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่มอเตอร์ทำงาน.....	49
4.2.1 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์ปกติ.....	49
4.2.2 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ .....	53
4.2.3 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ .....	57
4.2.4 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ .....	61
4.2.5 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ .....	66
4.2.6 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ .....	70
4.3 ผลการทดลองที่ 3 การสั่นสะเทือนในขณะที่มอเตอร์ทำงาน.....	76
4.3.1 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์ปกติ .....	76
4.3.2 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ .....	79

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 ผลการทดลองการสันสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ .....	83
4.3.4 ผลการทดลองการสันสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ .....	87
4.3.5 ผลการทดลองการสันสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ .....	91
4.3.6 ผลการทดลองการสันสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ .....	95
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>100</b>
5.1 สรุปผลการทดลองการสันสะเทือนของมอเตอร์ .....	100
5.1.1 มอเตอร์ปกติ .....	100
5.1.2 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ .....	100
5.2 สรุปผลการทดลองของเสียงขณะมอเตอร์ทำงาน .....	101
5.2.1 มอเตอร์ปกติ .....	101
5.2.2 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ .....	101
5.3 การประเมินผลการทดลอง .....	101
5.4 ปัญหาและการแก้ไข .....	102
5.5 ข้อเสนอแนะ .....	103
5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อไป .....	103
<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>104</b>
<b>ประวัติผู้ดำเนินโครงการ .....</b>	<b>105</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 มอเตอร์ปกติ (ไม่มีรอยแตก).....	41
4.2 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์.....	42
4.3 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์.....	43
4.4 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์.....	44
4.5 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์.....	45
4.6 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์.....	46
4.7 ผลรวมของการทดลองของเสียงขณะมอเตอร์ทำงานในสถานะต่างๆ.....	75
4.8 ผลรวมของการทดลองการสั่นสะเทือนขณะมอเตอร์ทำงานในสถานะต่างๆ.....	98



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	4
2.2 สเตเตอร์.....	5
2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก.....	6
2.4 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	8
2.5 โหลดแรงบิดคงที่ (Constant Torque).....	9
2.6 โหลดแรงบิดแปรผัน (Variable Torque).....	9
2.7 โหลดกำลังคงที่ (Constant Power).....	10
2.8 ไมโคร โฟน.....	14
2.9 กราฟสัญญาณแบบออกเทฟแบน (Octaveband).....	16
2.10 กราฟสัญญาณแบบวัน-เทร็ดออกเทฟแบน (1/3 Octaveband).....	16
2.11 ลักษณะองค์ประกอบของการสั่น.....	19
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด (Displacement), ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ที่ความถี่ 60 Hz.....	20
2.13 การเคลื่อนที่แบบคาบเวลา.....	21
2.14 รูปแบบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion).....	22
2.15 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก 2 ค่าโดยที่มีมุมเฟสระหว่างกัน.....	23
2.16 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion).....	24
2.17 Undamped Spring – Mass System.....	27
2.18 Damped Spring – Mass System.....	28
2.19 Damped Forced Vibration System.....	31
3.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก.....	36
3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	36
3.3 อุปกรณ์แปลงสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	37
3.4 สายนำสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	37
3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด.....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 ดิจิตอลแคมป์มิเตอร์กล้องสายไฟ.....	37
3.7 ออสซิลโลสโคป.....	37
3.8 Electro dynamometer .....	37
3.9 การทดสอบมอเตอร์.....	37
3.10 ไมโครโฟน.....	39
3.11 มอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	39
3.12 การทดสอบมอเตอร์.....	39
4.1 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์ปกติ .....	42
4.2 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์.....	43
4.3 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์.....	44
4.4 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์.....	45
4.5 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์.....	46
4.6 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์.....	47
4.7 กราฟกราฟแสดงผลรวมของความเร็วรอบ.....	47
4.8 กราฟกราฟแสดงผลรวมของแรงบิด.....	48
4.9 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสถานะโหลด 0%.....	49
4.10 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสถานะโหลด 20%.....	49
4.11 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสถานะโหลด 40%.....	50
4.12 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสถานะโหลด 60%.....	50
4.13 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสถานะโหลด 80%.....	51
4.14 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสถานะโหลด 100%.....	51
4.15 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์ปกติที่สถานะโหลดต่างๆ .....	52
4.16 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 0% .....	53
4.17 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 20%.....	53
4.18 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 40%.....	54
4.19 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 60%.....	54
4.20 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 80%.....	55







## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.75 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 40%.....	88
4.76 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 60%.....	88
4.77 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 80%.....	89
4.78 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 100%.....	89
4.79 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3บาร์สภาวะโหลดต่างๆ.	90
4.80 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 0%.....	91
4.81 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 20%.....	91
4.82 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 40%.....	92
4.83 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 60%.....	92
4.84 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 80%.....	93
4.85 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 100%.....	93
4.86 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4บาร์สภาวะโหลดต่างๆ.	94
4.87 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 0%.....	95
4.88 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 20%.....	95
4.89 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 40%.....	96
4.90 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 60%.....	96
4.91 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 80%.....	97
4.92 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 100%.....	97
4.93 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์5บาร์สภาวะโหลดต่างๆ .	98
4.94 กราฟแสดงผลรวมการทดลองการสั่นสะเทือนมอเตอร์ขณะทำงาน.....	99

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม และในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้งานในบ้านพักอาศัย อาทิเช่น ปั๊มน้ำ ระบบสายพานลำเลียง พัดลมเป่าอากาศ และคอมเพรสเซอร์ของระบบเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

การเลือกประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ รวมไปถึงการเลือกวิธีการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นประเด็นที่จะต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมของการใช้งานทั้งในด้านวิศวกรรมศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ต้นทุนการสร้าง และการประหยัดกำลังงาน เนื่องจากมีความหลากหลายของประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับที่มีการจำหน่ายในปัจจุบัน ทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส นอกจากนี้การควบคุมมอเตอร์ยังจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการของผู้ใช้ อาทิเช่น แรงบิด ความเร็วรอบของมอเตอร์ รวมไปถึงค่ากำลังงานที่ต้องใช้ในการขับมอเตอร์ดังกล่าว โดยปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันไป

นอกจากประเด็นที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้ว ยังมีข้อปัญหาในเชิงเทคนิคที่จำเป็นต้องพิจารณาในเชิงลึก ผู้ใช้ส่วนใหญ่โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพมอเตอร์มากขึ้น เพราะปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมใช้ระบบควบคุมในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน ระบบควบคุมบางระบบต้องการความละเอียดในการทำงานค่อนข้างสูงจำเป็นต้องตรวจสัณฐานภาพและสมรรถนะของมอเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานอย่างหนักจึงมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือถ้า อุณหภูมิ ความเร็วรอบ เสียง ฮาร์มอนิกส์ การสั่นสะเทือน เกิดความผิดปกติไปจากปกติ อาจทำให้ระบบควบคุมเกิดการ ทำงานที่ผิดพลาด เกิดอุปกรณ์ชำรุดเสียหาย ดังนั้นปัญหาเรื่องคุณภาพ สัณฐานภาพ หรือสมรรถนะของมอเตอร์จำเป็นต้องนำมาพิจารณา โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่มอเตอร์ ส่วนหนึ่งมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลง เสียงที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน การสั่นสะเทือนของตัวมอเตอร์ที่เกินมาตรฐาน และฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

ดังนั้น ในปริญญานิพนธ์นี้จึงได้ทำการวิเคราะห์เสียง ความเร็วรอบ การสั่นสะเทือน ที่เกิดขึ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ที่สภาวะขับภาระทางกลและที่ไม่มีสภาวะขับภาระทางกล เพื่อจะประเมินสภาพของมอเตอร์เพื่อจะได้หาวิธีแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงาน

- 1) เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้นิสิต ได้เรียนรู้และเข้าใจมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ามากขึ้น
- 2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เสียงที่เกิดขึ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ที่สภาวะขับภาระทางกล และที่ไม่มีสภาวะขับภาระทางกล โดยเลือกความเสียหายของบาร์โรเตอร์ ที่ 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์, 5 บาร์ และไม่มีความเสียหายของบาร์โรเตอร์ และเลือกขับโหลดที่ 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% เพื่อเทียบกันว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร
- 3) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ที่สภาวะขับภาระทางกลและที่ไม่มีสภาวะขับภาระทางกล โดยเลือกความเสียหายของบาร์โรเตอร์ ที่ 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์, 5 บาร์ และเลือกขับโหลดที่ 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% เพื่อเทียบกันว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

## 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

ศึกษา เสียง ความเร็วรอบ การสั่นสะเทือนภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ในสภาวะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ไร้ภาระทางกลจนถึงสภาวะขับภาระทางกล แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

## 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2555							ปี 2556		
	พ.ย	ธ.ค	ม.ค.	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
1) รวบรวมข้อมูล										
2) ศึกษาการทำงานและ ออกแบบการทดลอง										
3) ทดสอบ										
4) วิเคราะห์ผล										
5) สรุปผลการดำเนินงาน										
6) จัดทำปริญญาบัตรฉบับ สมบูรณ์										

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
- 2) สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบเสียงที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
- 3) สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเร็วรอบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
- 4) สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
- 5) นำความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส มาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเข้าใจเพิ่มขึ้น
- 6) สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่ ประยุกต์ใช้ในการทำงานในอนาคต เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคต

### 1.6 งบประมาณ

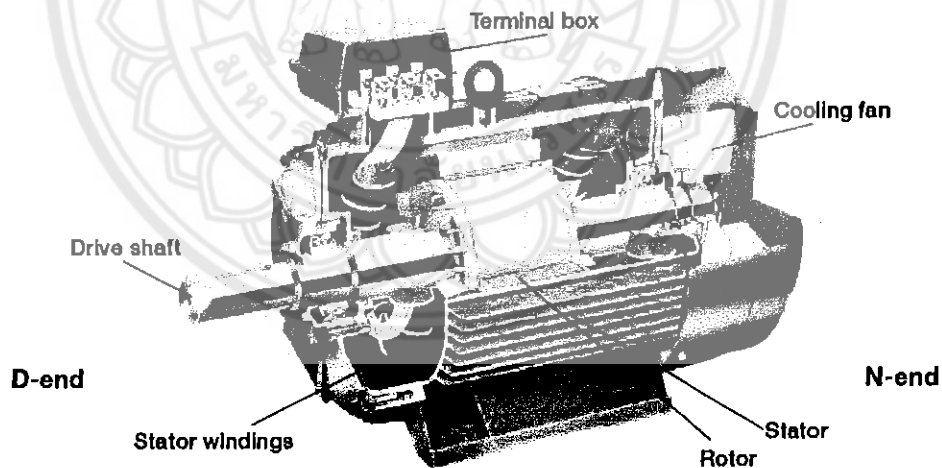
1) ค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	1,500 บาท
2) ค่าเอกสาร	300 บาท
3) ค่าวัสดุอื่นๆ	200 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันบาทถ้วน)	2,000 บาท
หมายเหตุ : มีการถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า

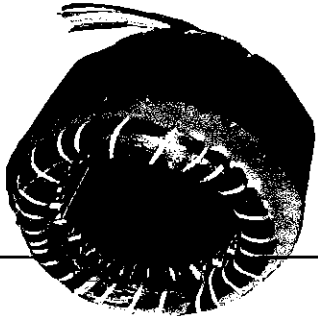
เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า คือ ขดลวดในสเตเตอร์ และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ เมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวสเตเตอร์ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไป สนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ จะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรถัดหรือขดลวดวงจรรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวด โรเตอร์ สนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์เกิดพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้



รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ [2.1]

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

- สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วย โครงของมอเตอร์แกน เหล็กสเตเตอร์ และขดลวด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สเตเตอร์ [2.2]

- โครงมอเตอร์ (Frame) จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลางฐานส่วนล่างจะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง โครงจะทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีป เพื่อช่วยในการระบายความร้อน ในกรณีที่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กๆ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกะทัดรัดมากขึ้น แต่ถ้าใช้เหล็กหล่อก็จะให้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก นอกจากนี้แล้วโครงของมอเตอร์ยังอาจทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว มีวนเป็นแผ่นมีวนรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมติดกันให้มีความแข็งแรง เช่น มอเตอร์สปลิตเฟส เป็นต้น

- แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core ) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ มีลักษณะกลมเจาะตรงกลางและเจาะร่องภายใน โคจรอบ แผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนท ซึ่งจะถูกล้อมด้วยฉนวนกันความร้อนแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว หลังจากนั้นจึงนำไปอัดเข้าด้วยกันจนมีความหนาที่เหมาะสม เรียกว่าแกนเหล็กสเตเตอร์

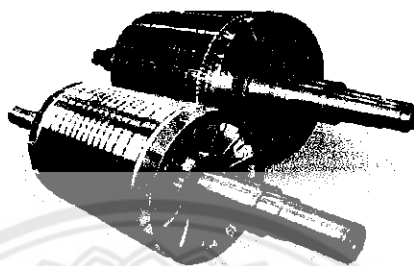
- ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่างๆ ของการพันมอเตอร์

● โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มอเตอร์ชนิดเหนียวน่าจะมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอกและ โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวด์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพลลา ซึ่งในปริยญาณิพนธ์นี้ศึกษาเฉพาะโรเตอร์แบบกรงกระรอก

- โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่เรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนท ซึ่งจะเป็แผ่นเหล็กชนิดเดียวกันกับสเตเตอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลม ๆ เจาะร่องผิวภายนอกเป็นร่อง โคจรอบ ตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลลา และจะเจาะรูรอบๆ รูตรงกลางที่สวมเพลลาทั้งนี้เพื่อช่วยใ้ในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่นเหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลลาแล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์ หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งตัวทองแดงหรือแท่งอะลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วยวงแหวนตัวนำทั้งนี้เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้าหรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์



แล้วถ้าอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปในร่อง ก็จะได้อะลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องจนเต็มและจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็ก ขดลวดในโรเตอร์นั้นจะเป็นลักษณะของตัวนำที่เป็นแท่งซึ่งอาจใช้ทองแดง หรืออะลูมิเนียมประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะคล้ายกรงนกหรือกรงกระรอก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก [2.3]

- ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางและคว้านเป็นรูปกลมใหญ่เพื่ออัดเบร็งหรือคลัทช์ป้อนรองรับแกนเพลลาของโรเตอร์
- ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียวขึ้นรูปให้มีขนาดสวมฝาครอบได้พอดี มีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดใหญ่
- ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อ มีลักษณะเท่ากันทุกครึ่งเท่ากันทุกครึ่ง จะสวมยึดอยู่บนเพลลาตรงข้ามกันกับเพลลาแกน ใบพัดนี้จะช่วยในการระบายอากาศและความร้อนได้มากทีเดียวใบพัดนี้ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดย่อยถึงขนาดใหญ่เช่นเดียวกับฝาครอบใบพัด
- สลักเกลียว (Bolt) จะทำด้วยเหล็กเหนียวจะมีลักษณะเป็นเกลียวตลอด ถ้าเป็นมอเตอร์ 3 เฟส จะประกอบด้วยสลักเกลียว 8 ตัว ทำหน้าที่ยึดฝาครอบให้ติดกับโครง ถ้าเป็นมอเตอร์ 1 เฟสขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์สปลิตเฟสจะเป็นสลักเกลียวยาวตลอดความยาวของตัวมอเตอร์ ทำเกลียวเฉพาะด้านปลายและมีน๊อตขันยึดไว้ ดังนั้นจึงมีเพียง 4 ตัว

### 2.1.2 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสและ 3 เฟส เมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟสลับ ที่สมมูลย์ 3 เฟส (กรณีมอเตอร์ 3 เฟส) ที่มีความถี่  $f$  จำนวนขั้วแม่เหล็ก  $P$  ขั้ว จะมีผลให้เกิดกระแสไหลอย่างสมมูลย์

ในขดลวดแต่ละเฟส โดยกระแสที่ไหลจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ช่องอากาศ ที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ เรียกว่า Synchronous speed ดังต่อไปนี้

$$N_s = \frac{120 f}{P} \text{ (rpm)} \quad (2.1)$$

เมื่อ	$N_s$	ความเร็วซิงโครนัส (rpm)
	$f$	ความถี่มูลหอกของไฟฟ้ากระแสสลับ
	$P$	จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

จากสมการที่ (2.1) พบว่า ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะแปรผันตรงกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้า แต่เนื่องจากที่เพลลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะหมุนโดยมีความเร็วรอบน้อยกว่าความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนเล็กน้อย ที่ถูกเรียกว่า ความเร็วสลลิป (Slip) ซึ่งมีค่าประมาณ 1% ถึง 3% ขึ้นอยู่กับภาระ (Load) ของมอเตอร์

### 2.1.3 สลิป (Slip, S)

ในทางปฏิบัตินั้น โรเตอร์ไม่สามารถหมุนได้เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ โดยปกติแล้วความเร็วของโรเตอร์จะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์ ความแตกต่างของความเร็ว นั้น จะขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์นั้น

ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่ที่สเตเตอร์หรือความเร็วซิงโครนัส ( $N_s$ ) และความเร็วรอบของโรเตอร์ขณะใช้งาน (Actual Speed,  $N_r$ ) เรียกว่า สลิปของมอเตอร์โดยปกติเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งเปอร์เซ็นต์สลิป สามารถหาได้จากสมการดังนี้

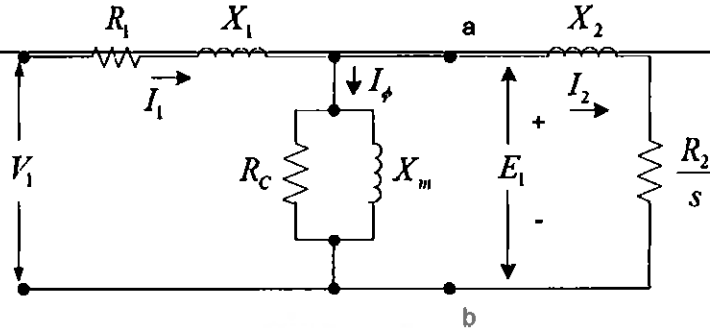
$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.2)$$

$$\%Slip = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \quad (2.3)$$

แต่ในบางครั้ง  $N_s - N_r$  ก็เรียกว่า ความเร็วสลลิป (Slip Speed) จะได้ความเร็วของโรเตอร์ คือ

$$N_r = N_s(1 - S) \quad (2.4)$$

สำหรับการวิเคราะห์ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สามารถวิเคราะห์ได้จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากรูปที่ 2.4 โดยกำลังไฟฟ้าแต่ละส่วนของมอเตอร์



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [2.4]

ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2.5) – (2.11)  
กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $P_i$ )

$$P_i = 3V_1 I_1 \cos \theta_1 \tag{2.5}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดที่สเตเตอร์ ( $P_{cu,1}$ )

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \tag{2.6}$$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โรเตอร์ ( $P_g$ )

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \tag{2.7}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของขดลวดที่โรเตอร์ ( $P_{cu,2}$ )

$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 = sP_g \tag{2.8}$$

กำลังไฟฟ้าที่ออกจากโรเตอร์ ( $P_e$ )

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1 - s)P_g \tag{2.9}$$

กำลังไฟฟ้าที่ออกจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $P_o$ )

$$P_o = T\omega_r \tag{2.10}$$

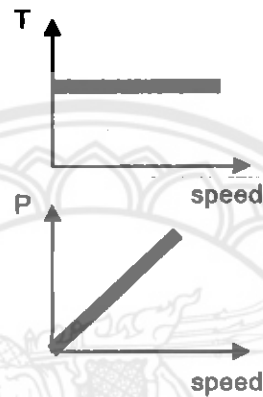
ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \tag{2.11}$$

## 2.2 โหลดของมอเตอร์

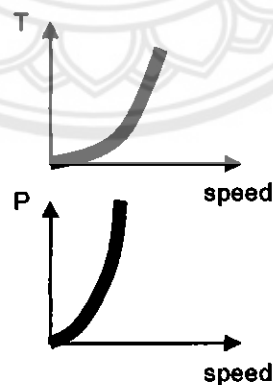
ในความหมายของปริมาณภาระงาน (โหลด) ของมอเตอร์ เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ควรที่จะเข้าใจ โดยทั่วไปโหลดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

2.2.1 โหลดแรงบิดคงที่ (Constant Torque) คือ โหลดที่มีความต้องการกำลังส่งออกแปรผันกับความเร็วในการทำงานแต่ไม่แปรผันกับแรงบิด ตัวอย่างของโหลดแรงบิดคงที่ ได้แก่ ลิฟต์ บันจัน สายพานลำเลียง เต้าเผาแบบหมุนและเครื่องสูบบนแทนที่คงที่



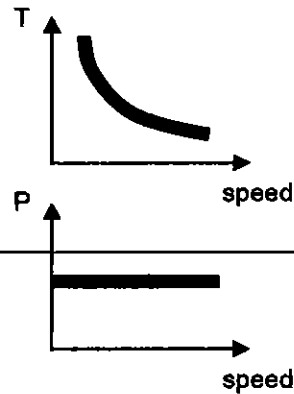
รูปที่ 2.5 โหลดแรงบิดคงที่ (Constant Torque) [2.5]

2.2.2 โหลดแรงบิดแปรผัน (Variable Torque) คือ โหลดที่มีความต้องการแรงบิดแปรผันกับความเร็วในการทำงาน ตัวอย่างของโหลดแรงบิดผันแปร ได้แก่ เครื่องสูบบนแรงหมุนเหวี่ยง (แรงบิดจะผันแปรไปกับค่าความเร็วยกกำลังสอง)



รูปที่ 2.6 โหลดแรงบิดแปรผัน (Variable Torque) [2.6]

2.2.3 โหลดกำลังคงที่ (Constant Power) คือ โหลดที่มีความต้องการแรงบิดที่แปรผกผันกับความเร็ว ตัวอย่างของโหลดกำลังคงที่ ได้แก่ เครื่องเจาะ สว่าน เครื่องจักรต่างๆ



รูปที่ 2.7 โหลดกำลังคงที่ (Constant Power) [2.7]

### 2.3 การประเมินโหลดของมอเตอร์

สามารถประเมินโหลดของมอเตอร์ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ เมื่อปริมาณโหลดเพิ่มสูงขึ้นค่าตัวประกอบกำลังและค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ทำให้ได้ประ โยชน์สูงสุดเมื่อมีปริมาณโหลดเต็มที่

การคำนวณปริมาณโหลดจะใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Load = \frac{P_i \times \eta}{HP \times 0.7457} \quad (2.12)$$

โดยที่  $\eta$  คือ ค่าประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์แสดงเป็น %

HP คือ อัตรากำลังแรงม้าที่ระบุไว้ในป้ายชื่อ

Load คือ โหลดซึ่งก็คือกำลังส่งออกโดยคิดเป็น % ของอัตรากำลังที่ระบุไว้

$P_i$  คือ ค่ากำลัง 3 เฟสในหน่วยกิโลวัตต์ (kW)

มี 3 วิธีการสำหรับการคำนวณ โหลดของมอเตอร์ที่มีการทำงานแบบแยกอิสระ

1. การวัดกำลังอินพุต วิธีนี้จะคำนวณ โหลดในฐานะที่เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังอินพุต (วัด โดยเครื่องวิเคราะห์กำลัง) และอัตรากำลังที่กำหนดไว้ในสภาวะที่มีโหลด 100%

2. การวัดกระแสในสายโหลด ใช้วิธีการคำนวณโดยจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลัง กระแสไฟฟ้า (วัด โดยเครื่องวิเคราะห์กำลัง) กับค่ากำลังกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ วิธีการนี้จะถูกใช้ เมื่อไม่ทราบค่าตัวประกอบกำลังและทราบเพียงค่ากำลังกระแสไฟฟ้าเท่านั้น และแนะนำว่าควรใช้ วิธีนี้เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ของ โหลดน้อยกว่า 50%

3. วิธีการเลื่อนไหลไหล จะถูกคำนวณโดยการเปรียบเทียบค่าการเลื่อนไหลที่วัดได้ เมื่อมอเตอร์กำลังทำงาน โดยมีการเลื่อนไหลสำหรับมอเตอร์ที่มีไหลคเดิมที่ วิธีการนี้มีข้อจำกัดเรื่องความแม่นยำแต่สามารถนำมาใช้กับเครื่องมือวัดความเร็วรอบของการหมุนเท่านั้น (ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องวิเคราะห์กำลัง)

## 2.4 เสียง

พลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอนุภาคของต้นกำเนิดเสียงหรือแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งพลังงานจากการสั่นสะเทือนของต้นกำเนิดเสียงนี้จะถ่ายทอดผ่านตัวกลางหรืออากาศ ทำให้อนุภาคของตัวกลางหรืออากาศสั่นไปมา ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของตัวกลางหรืออากาศ และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเสียงในลักษณะของคลื่น (Wave) ที่เรียกว่า “คลื่นเสียง”

การเกิดคลื่นเสียง ประกอบด้วย องค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ แหล่งกำเนิดของเสียง (Sources) ตัวกลางที่คลื่นเสียงผ่าน (Medium for Transmission) และตัวรับ (Receiver) โดยต้นกำเนิดเสียง หมายถึง วัตถุหรือสสารต่างๆ ที่มีการสั่น ซึ่งการสั่นของสสารอาจเกิดจากการสั่นของพื้นผิวของแข็ง ที่เรียกว่า เสียงที่เกิดจากภาวะทางกล (Mechanical Noise) เช่น การสั่นของตัวเครื่องจักร มอเตอร์ หรืออาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลที่เรียกว่า เสียงที่เกิดจากการไหล (Fluid Noise) เช่น การเกิดเสียงจากระบบนิวแมติก (Pneumatic tools) เครื่องอัดอากาศ (Compressors) สำหรับตัวกลาง หมายถึง สสารที่นำพาคลื่นเสียงเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง ซึ่งตัวกลางดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) มีมวล (Mass) และมีความเฉื่อย (Inertia) ตัวกลางโดยทั่วไปหมายถึงอากาศ (หรือก๊าซ) อย่างไรก็ตาม ตัวกลางอาจเป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้ ส่วนตัวรับ หมายถึง การรับรู้ของหูและสมองมนุษย์ หรือเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดเสียงที่เรียกว่า “เครื่องวัดระดับเสียง”

ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเสียงเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงกล่าวถึงคลื่นเสียงในรูปแบบของ Sine Wave คุณสมบัติทางกายภาพของเสียงที่สำคัญมีหลายพารามิเตอร์ เช่น แอมพลิจูด (Amplitude) หรือความสูงของคลื่นเสียง ความยาวคลื่น (Wave length) ความถี่ (Frequency) คาบ (Period) อัตราเร็วของเสียง (Speed of Sound) กำลังเสียง (Sound Power, W) ความเข้มเสียง (Sound Intensity ; I) ความดันเสียง (Sound Pressure) เป็นต้น

### เสียงแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

1. เสียงที่คงสม่ำเสมอ (Steady-State Noise) เป็นเสียงที่คงต่อเนื่องระดับเสียงไม่เปลี่ยนแปลงเกินกว่า 5 dB ใน 1 วินาที ได้แก่ เสียงมอเตอร์เสียงพัดลม เป็นต้น
2. เสียงที่เปลี่ยนแปลงระดับเสมอ (Fluctuating Noise) จะมีระดับเสียงสูงๆ ต่ำๆ เปลี่ยนแปลงเกินกว่า 5 dB ใน 1 วินาที ได้แก่ เสียงไซเรน เป็นต้น
3. เสียงคงเป็นระยะ (Intermittent Noise) เป็นเสียงที่คงไม่ต่อเนื่อง มีลักษณะไม่แน่ชัด ได้แก่ เสียงจากการจราจร เสียงเครื่องบินบินผ่าน เป็นต้น
4. เสียงกระแทก (Impulse or Impact Noise) เป็นเสียงที่เกิดขึ้นแล้วค่อยๆ จางหายไป เสียงกระแทกนี้จะมีระยะเวลาที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 0.5 วินาทีและระดับความดังเสียงจะต้องเปลี่ยนแปลงไปอย่างน้อย 40 dB ได้แก่ เสียงตอกเสาเข็ม เสียงระเบิด เป็นต้น

### 2.5 เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level Meter)

เป็นเครื่องมือมาตรฐานการประเมินการสัมผัสเสียง หลักการทำงานของเครื่องวัดเสียง คือ ความดันที่เปลี่ยนไปเนื่องจากเสียง ซึ่งวัดเป็นระดับความดันเสียง (dB) ไมโครโฟนจะเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนความดันของคลื่นเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณนี้มีขนาดเล็กมากจึงต้องผ่านเครื่องขยายกำลัง (Preamplifier) ก่อนที่จะถูกส่งไปวิเคราะห์ ซึ่งสามารถได้ข้อมูลตรงๆ หรือข้อมูลเวลาที่หรือข้อมูลอยู่ในระดับที่แสดงออกมาได้ อาจเป็นเข็มมิเตอร์ หรือสัญญาณแสดงออกที่ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เทปบันทึกหรือหูฟังก็ได้ เข็มบนมิเตอร์สามารถกำหนดความเร็วของการบงชี้ให้เร็วหรือช้า ก่อนที่จะทำการวัดเกี่ยวกับเสียง จะต้องทราบวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน เพื่อที่จะทำการวัดนั้นเหมาะสมและสมบูรณ์ที่สุด เช่น

#### 1. การวัดเพื่อประเมินเสียงต่อมนุษย์

วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการประเมินอันตรายของเสียงต่อระบบประสาทการได้ยินของมนุษย์รวมทั้งตรวจวัดเสียงที่จะมาบดบังความสามารถที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร อีกทั้งอาจใช้ประเมินระดับเสียงที่สามารถจะยอมให้มีได้ในบริเวณที่มนุษย์ต้องอาศัยอยู่

ในกรณีเหล่านี้จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นเสียง รวมทั้งระดับของเสียงที่อาจแปรผันได้ รวมทั้งระยะเวลาที่เสียงเกิดขึ้น ปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญได้แก่ระดับเสียงพื้นฐานซึ่งเกิดขึ้นในเวลาต่างๆของวัน เช่น กลางวันและกลางคืน เป็นต้น ความรู้ของหลักเกณฑ์นั้นย่อมบอกถึงแถบความถี่ของคลื่นเสียงที่จะทำการวัด ในบางกรณีอาจทำการวัดเพียง ชั้นความถี่หรือ แบบวัน-เทร็คออกเทฟแบน ก็ยอมเพียงพอ แต่ในอีกหลายกรณีที่ต้องทำการวิเคราะห์แถบความถี่วงแคบ

2. การวัดเพื่อการออกแบบทางวิศวกรรม หรือใช้ในการตัดสินใจเพื่อการควบคุมระดับเสียง การสร้างโรงงานและการติดตั้ง เครื่องจักรจะต้องคำนึงถึงเสียงที่เกิดขึ้นในโรงงานนั้นด้วยจึง

ต้องวัดระดับเสียงที่เกิดขึ้นรวมทั้งตรวจวัดให้ทราบว่าเสียงนั้นมาจากแหล่งใด จัดลำดับความสำคัญ เพื่อการควบคุมระดับเสียงจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งจัดหาข้อมูลเกี่ยวข้องกับเสียง เพื่อการออกแบบ และการตรวจวัดสมรรถภาพของงานที่ใช้ควบคุมระดับเสียง ความต้องการเหล่านี้ย่อมหมายถึงการวิเคราะห์เสียงโดยละเอียด นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการตรวจสอบวัดอุณหภูมิ, ความดัน, การไหลของก๊าซ, และระดับการสั่นสะเทือน

### 3. การวัดเพื่อแบ่งระดับเสียงของเครื่องมือต่างๆ

ในบางกรณีนั้นย่อมต้องการทราบว่าเครื่องจักรดังกล่าว เป็นต้นตอของการเกิดเสียงมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ตามข้อบังคับของกฎหมาย

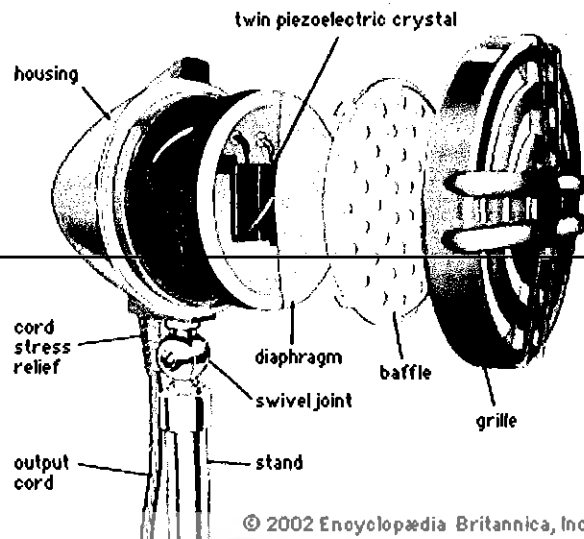
### 4. การวัดเพื่อตรวจสอบวินิจฉัย

การสืบสวนค้นคว้าต้นตอที่ซับซ้อนของเสียงจากเครื่องจักรรวมทั้งหาหนทาง เพื่อลดเสียงนั้นอาจต้องการวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นเสียงนั้น โดยละเอียด รวมทั้งความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนด้วย

ดังนั้นส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียงจึงประกอบไปด้วย

2.5.1. ไมโครโฟน (Microphone) เป็นอุปกรณ์ที่ละเอียดอ่อนมากและมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ คอนเดนเซอร์ (Condenser) และ เซรามิกไมโครโฟน (Ceramic microphones) อุปกรณ์ชนิดคอนเดนเซอร์มีความคงตัวนานไม่วางต่อการสั่นสะเทือนหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่วางต่อช่วงอุณหภูมิหรือความดันที่เปลี่ยนแปลงไป แต่มีข้อเสียคือไวต่อสภาพความชื้นที่สูง ซึ่งเป็นสาเหตุของการรั่วไหลของไฟฟ้า ส่งผลให้มีค่าระดับเสียงรบกวนรอบๆ ทำให้ไมโครโฟนค้างเกินไป สำหรับเซรามิกไมโครโฟน จะมีความทนมากกว่าคอนเดนเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามไวมากต่อการสั่นสะเทือนมากกว่า คอนเดนเซอร์ และมีความไวต่ออุณหภูมิ โดยเฉพาะถ้าต่ำกว่า 10 °C ถึงแม้ว่าการตอบสนองต่อความถี่ของเซรามิกไมโครโฟนจะดีกว่าแต่มันก็ถูกพิจารณาว่าด้อยกว่าชนิดคอนเดนเซอร์





รูปที่ 2.8 ไมโครโฟน [2.8]

2.5.2 เครื่องวัดระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ (Frequency Weighting Networks) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการตอบสนองของเครื่องวัดระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ ระดับเวท(Weighted Sound Level) เป็นระดับเสียงที่ได้จากการวัดผ่านไมโครโฟนแล้วผ่านที่กรองเวท ซึ่งจะให้ระดับเสียงเวทที่ได้หลายรูปแบบเช่น A, B, C, D ทั้งนี้เนื่องจากหูคนมีความไวต่อเสียงต่างกันถ้าความถี่ต่างกัน

ระดับ A (A-Weighted) เป็นการกรองเสียงเพื่อผลตรงกับ การตอบสนองของคนสำหรับระดับเสียงต่ำ

ระดับ B (B-Weighted) เป็นการกรองเสียงเพื่อให้ผลตรงกับ การตอบสนองของคนสำหรับระดับเสียงปานกลาง(ความถี่ประมาณ 400-3,000 Hz)

ระดับ C (C-Weighted) เป็นการกรองเสียงเพื่อให้ผลตรงกับ การตอบสนองของคนสำหรับระดับเสียงสูงแต่ไม่มีการกรองมากนัก ดังนั้นผลการวัดเสียงจึงใกล้เคียงกับความจริง

ระดับ D (D-Weighted) เป็นการตอบสนองของคนจากเสียงรอบๆ สนามบิน จึงใช้วัดเสียงจากท่าอากาศยาน

เสียงเวทที่ใช้มากที่สุดคือ ระดับ A ใช้ทั้งวัดเสียงภายในและภายนอกอาคารการใช้ระดับ A ควรใช้กับเสียงที่มีแถบคลื่นกว้าง(Broad-band Noise) การใช้เครื่องวัดระดับ A เป็นที่นิยมใช้แพร่หลายที่สุดสำหรับการประเมินอันตรายจากเสียง รวมทั้งเสียงรบกวนการสนทนาและเสียงรบกวนในเขตชุมชน ทั้งนี้เนื่องจากถูกสร้างขึ้นให้ตอบสนองต่อระดับความดังที่ความถี่ต่างๆ ได้ใกล้เคียงกับหูมนุษย์มากที่สุด

**2.5.3 ตัวขยายสัญญาณ(Amplifier)** สำหรับเครื่องวัดเสียง การขยายสัญญาณอย่างน้อยต้องมีความสามารถในการขยายสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 20 ถึง 20,000 Hz นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการขยายสัญญาณ ในเครื่องวัดเสียง คือ จะต้องมีเสียงรบกวนที่เกิดจากตัวขยายสัญญาณเองเรียกว่า เสียงรบกวนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์(Electronic Noise) ต่ำ

**2.5.4 ตัวตรวจวัดสัญญาณเสียง(Sound Level Meter Detectors)** เป็นตัววัดสัญญาณเสียงซึ่งใช้ใน เครื่องวัดระดับเสียง(Sound Level Meter RMS) เป็นตัววัดสัญญาณเสียงซึ่งใช้มากที่สุดและใช้ในการวัดระดับความดันเสียง(Sound Pressure Level) ถูกเรียกว่า เร็ว(Fast) และ ช้า(Slow) ในโหมดเร็วนี้เครื่องมือจะตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนระดับเสียงอย่างรวดเร็ว แต่ในโหมด ช้าระดับการตอบสนองจะลดลง

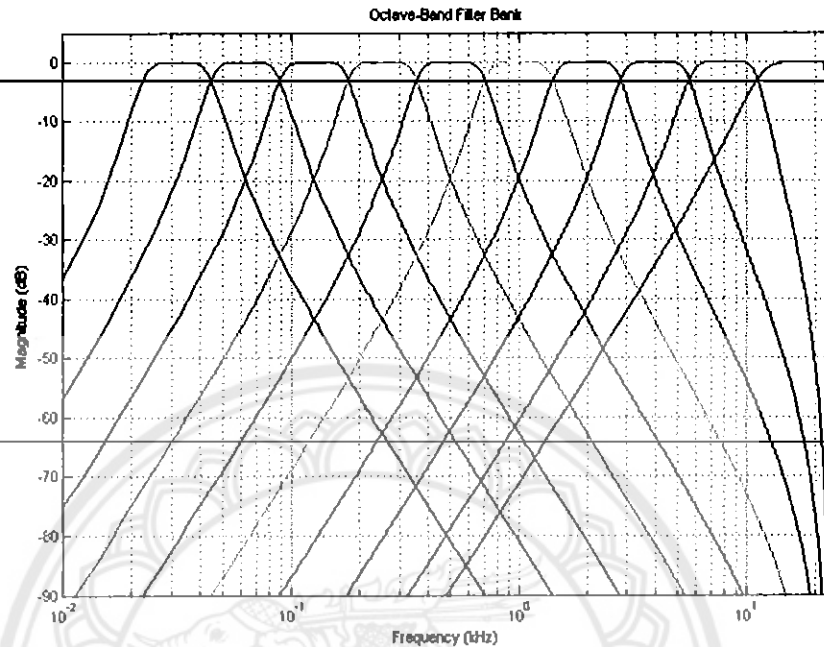
**2.5.5 ตัวแสดงผลการวัดสัญญาณเสียง(Sound Level Meter Display)** หลังจากสัญญาณความดันเสียงถูกวัด ผลจะแสดงออกมาในหน่วย dB บนเครื่องมือแบบดิจิตอลหรือแบบอนาลอก แบบดิจิตอลจะอ่านเป็นจำนวนตัวเลข โดยตรง เมื่อมีระดับเสียงผันผวนเกิดขึ้น การแสดงจำนวนตัวเลขสามารถเข้าใจยากและสับสน แต่ในแบบอนาลอกจะส่งเกตุง่ายกว่าของเสียงที่ผันผวน แต่ก็มีความทนทานน้อยกว่าการแสดงผลแบบดิจิตอล

## 2.6 เครื่องวิเคราะห์ความถี่เสียง (Sound Frequency Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงการกระจายของพลังงานเสียงที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหาแหล่งกำเนิดเสียงและในการควบคุมระดับความดังของเสียง เครื่องวิเคราะห์ความถี่ของเสียงมีทั้งสามารถวิเคราะห์ความดังของเสียงที่ความถี่ต่างๆ ได้ด้วยตัวเอง และชนิดที่ต้องต่อเข้ากับเครื่องวัดระดับความดังของเสียง ในเครื่องวิเคราะห์นี้สัญญาณไฟฟ้าจากไมโครโฟนจะถูกกรองด้วยวงจรไฟฟ้าของเครื่องวิเคราะห์เสียง ซึ่งจะส่งต่อพลังงานเสียงที่มีความถี่ในช่วงจำกัด ไปยังเข็มอ่านค่าที่หน้าปัดอ่านค่า หรือเครื่องอ่านอื่นๆ

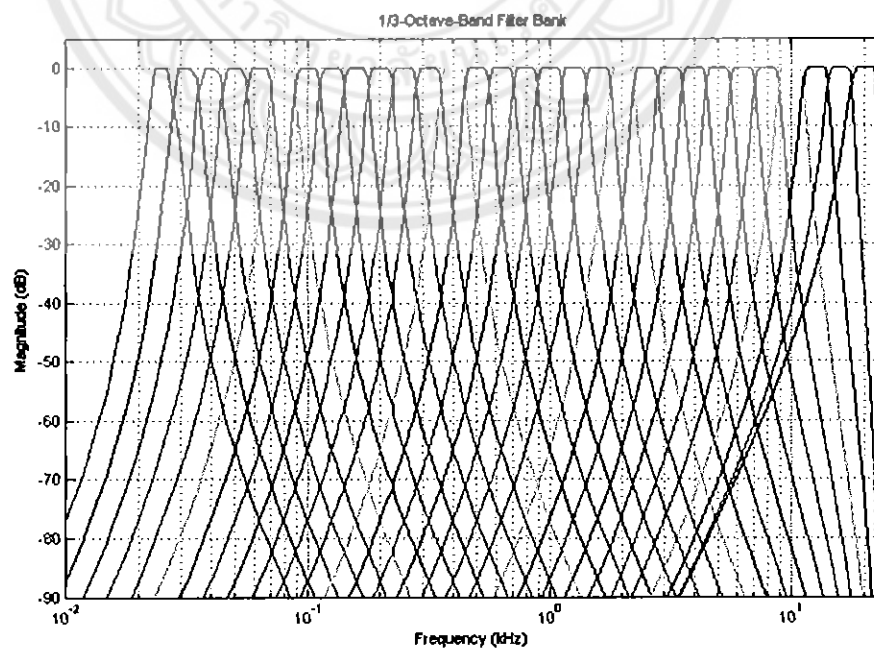
เครื่องวิเคราะห์ความถี่ของเสียงที่ใช้อย่างกว้างขวางคือเครื่องวิเคราะห์ออกเทฟ(Octave Band Analysis) ซึ่งจะวัดความดังของเสียงในช่วงความถี่ที่คนได้ยิน เพื่อการวิเคราะห์ระดับความดังที่ความถี่ต่างๆ ให้ละเอียดยิ่งขึ้น แถบความถี่จะถูกกำหนดให้แคบลง เช่น แถบความถี่มีความกว้างเป็น 1/3 และ 1/10 ของออกเทฟแบน นั่นคือแบ่งแถบออกเทฟแบน 1 แถบออกเป็น 3 ส่วน และ 10 ส่วนเท่าๆกัน ตามลำดับ แบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีด้วยกันหลายแบบ ได้แก่ แบบออกเทฟแบน (Octave-band) แบบวัน-เทิร์ตออกเทฟแบน(1/3 Octave-band) และแบบแนโรแบนด์ (Narrow-band) โดยแบบแรกนิยมใช้กันมากที่สุดเริ่มวิเคราะห์เสียงที่ความถี่กลางที่ 31.6 Hz สำหรับ 1/3 ออกเทฟแบน จะวิเคราะห์ความถี่ในช่วงความถี่แคบเข้ามา ลักษณะเฉพาะของออกเทฟแบน คือในแต่ละแถบความถี่(Frequency Band) ค่าสูงสุดของความถี่ (Upper Cut-Off Frequency) จะเป็นสองเท่าของค่าต่ำสุดในแถบนั้น ในการวัดระดับความดังที่แถบความถี่ต่างๆ จะใช้ค่าถึงกลางของ

แถบซึ่งค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของค่าความถี่สูงสุดและต่ำสุดเป็นตัวแทนของแถบความถี่นั้น จุดกึ่งกลางของช่วงความถี่มีค่า 10 ค่า 31.5, 63, 125, 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000, 8,000 และ 16,000 Hz



รูปที่ 2.9 กราฟสัญญาณแบบออกเทฟแบน (Octaveband) [2.9]

บางครั้งการวิเคราะห์แบบออกเทฟแบน อาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์แบบ 1/3 ออกเทฟแบนด้วย คุณลักษณะของ 1/3 ออกเทฟแบน ได้แสดงในรูป 2.10



รูป 2.10 กราฟสัญญาณแบบวัน-เทร็ดออกเทฟแบน (1/3 Octaveband) [2.10]

## 2.7 เครื่องบันทึก

### 1. เครื่องบันทึกข้อมูล (Level Recorders)

คือโวลต์มิเตอร์นั่นเองที่สามารถบันทึก DC หรือ rms ของสัญญาณ A.C. บนเส้นตรงหรือมาตราส่วนลอการิทึมบางเครื่องสามารถมีการประสานสำหรับ คู่สัญญาณ และ การวิเคราะห์สัญญาณคู่ที่สาม เพื่อเก็บค่า ตัวกรองสัญญาณป้อนกลับ(Filter Switching) ถูกกำหนดเวลาไว้สำหรับ เครื่องบันทึกความถี่ เพื่อทำ การเขียนกราฟความถี่ตอบสนอง เครื่องบันทึกดังกล่าวนี้มีประโยชน์สำหรับบันทึกระดับของเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

### 2. เครื่องบันทึกแบบกราฟ (XY Plotters)

เครื่องนี้มี Y Plot เป็นของ D.C input และ X Plot เป็นสัญญาณ D.C. ที่ได้สัดส่วนกับความถี่ มักใช้ร่วมกับ การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว(Fast Fourier Transform :FFT) และเครื่องการวิเคราะห์อื่นสำหรับบันทึกความจำ

### 3. เครื่องบันทึกดิจิทัลแบบชั่วคราว (Digital Transient Recorders)

เครื่องนี้ได้ออกแบบมาเพราะสำหรับการบันทึกเสียงที่มีช่วงสั้นมากเช่น เสียงปืนหรือเสียงเครื่องบิน โดยการรับสัญญาณเข้ามาแล้ว เปลี่ยนให้เป็นตัวเลขตามอัตราที่ตั้งไว้และเก็บไว้ในหน่วยความจำข้อมูลที่เก็บไว้จะนำออกมาเป็นตัวเลข

### 4. เครื่องบันทึกเทป (Tape Recorders)

เครื่องนี้มักใช้สำหรับเก็บข้อมูลเสียงมาจากบริเวณที่มีการทำงาน ต้องใช้เครื่องที่มีคุณภาพคืออาจใช้เครื่องบันทึกแบบ AM แต่ถ้ามีความสนใจสัญญาณคลื่นเสียงที่เป็น ชานน์ ก็อาจใช้เครื่องบันทึกเทปแบบ FM ได้มีการพัฒนาเครื่องบันทึกเทปแบบดิจิทัล ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเครื่องตรวจวัด ซึ่งจะทำให้การวัดมีสมรรถภาพดีขึ้นมาก โดยเฉพาะในระยะเวลาการเคลื่อนที่

## 2.8 อิทธิพลที่มีผลต่อการการวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม

เครื่องวัดเสียงเป็นเครื่องมือที่มีระบบวงจรไฟฟ้าจึงมีความไวต่อสิ่งแวดล้อมที่มากกระทบกระเทือน โดยเฉพาะไมโครโฟน ดังนั้นการทำการวัดเสียงความจำเป็นสิ่งต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature) เครื่องวัดเสียงถูกสร้างมาเพื่อให้ใช้ในอุณหภูมิปกติ ส่วนมากจะระบุให้ใช้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -7 ถึง 66 องศาเซลเซียส การตรวจปรับความถูกต้องจะกระทำกันที่อุณหภูมิห้อง ฉะนั้นถ้านำไปใช้ในที่มีอุณหภูมิต่างจากอุณหภูมิห้อง จึงควรปรับค่าให้เหมาะสมด้วย ควรศึกษาตามรายละเอียดในหนังสือคู่มือการใช้เครื่องมือ เพื่อให้ทราบข้อจำกัดในการใช้เครื่องวัดเสียงในบริเวณนั้นว่าสามารถให้ผลการวัดที่น่าเชื่อถือได้หรือไม่

2. ความชื้น (Humidity) เครื่องวัดเสียงซึ่งผ่านการตรวจสอบโดย OSHA (Occupational Safety and Health Administration) แล้ว จะทำงานได้ในที่ที่มีความชื้นสูง ตราบเท่าที่ความชื้นไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะไมโครโฟน เซรามิกไมโครโฟนจะทนทานต่อความชื้นที่สูง แต่คอนเดนเซอร์จะไม่เป็นอย่างนั้น การวัดจะล้มเหลวถ้าสัมผัสฝนหรือหยดน้ำจากบรรยากาศ เพราะจะทำให้เกิดเสียงแทรกกรรกได้ ดังนั้นต้องทำให้มีความชุ่มกว่าบรรยากาศรอบๆ โดยสิ่งไมโครโฟนให้หลุดไฟ สัก 5-10 นาที

3. ความดันบรรยากาศ (Barometric Pressure) จะมีผลกระทบต่อเสียงจากเครื่องปรับความถูกต้อง (Calibrator) ฉะนั้นจะต้องปรับค่าความดันบรรยากาศตามที่ผู้ผลิตแนะนำไว้ในหนังสือคู่มือการใช้เครื่องเสมอ โดยทั่วไปถ้าระดับของพื้นที่ที่จะทำการวัดเสียงอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 10,000 ฟุต ผลกระทบเนื่องจากความดันบรรยากาศจะน้อยมาก จึงไม่จำเป็นต้องปรับค่า แต่ถ้าเกินกว่า 10,000 ฟุต หรือมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศปกติ จำเป็นต้องมีการปรับค่าเพื่อความถูกต้องของการวัด

4. กระแสลม (Wind) กระแสลมที่พัดผ่านไมโครโฟนอาจทำให้เกิดเสียงดังได้ และทำให้ระบบความถูกต้อง ซึ่งจะทำให้การอ่านค่าของเครื่องสูงกว่าที่ควรเป็น ดังนั้นการใช้เครื่อง ป้องกันลม (Wind Screen) สวมบนไมโครโฟนจะช่วยป้องกันปัญหาที่เกิดจากกระแสลมได้ และสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเสียงที่วัดได้เป็นเสียงลมผ่านไมโครโฟน หรือเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าวัดโดยไม่มี ความแตกต่างเมื่อวัด โดยมีและไม่มีกำบัง แสดงว่าไม่มีเสียงจากความเร็วลม ดังนั้นเสียงที่วัดได้คือเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงที่ต้องการวัด ถ้าวัดโดยมีกำบังลมแล้วระดับเสียงลดลง แสดงว่าค่าที่วัดได้เมื่อมีที่กำบังลม คือเสียงจากลม แต่ค่าที่วัดเมื่อมีที่กำบังลมคือเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงที่ต้องการ

5. การสั่นสะเทือน (Vibration) เมื่อเสียงดังมากกว่า 120 dB คลื่นเสียงอาจแรงพอทำให้โครงสร้างของเครื่องมือ ไมโครโฟนและอุปกรณ์ภายในสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นควรตั้งเครื่องมืออยู่นอกเขตเสียงดังแล้วแยกไมโครโฟนออกไปโดยใช้สายต่อ โดยเลือกสายต่อที่เหมาะสมอย่าให้การสั่นสะเทือนภายในสายต่อทำให้เกิดเสียงเอง

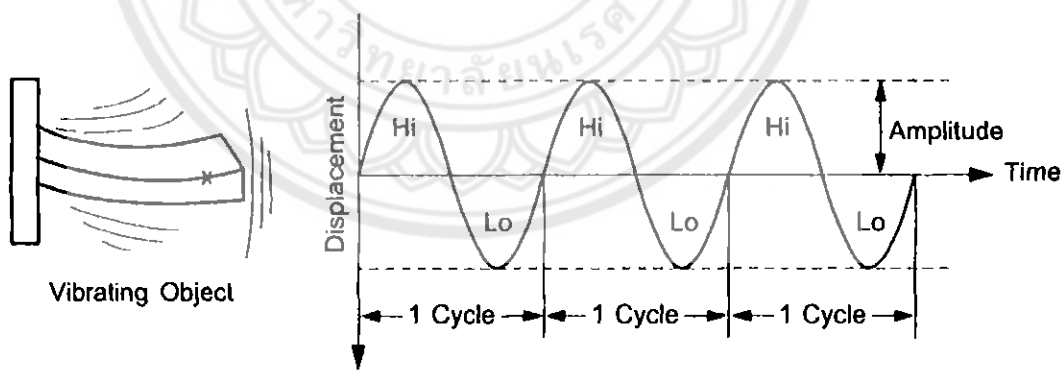
6. ความยาวของสายไมโครโฟน เนื่องจากในสภาพแวดล้อม การวัดเสียงบางครั้งต้องวัดในที่ซึ่งนำไมโครโฟนเข้าไปได้โดยเฉพาะ และต่อไมโครโฟนเข้ากับเครื่องวัดเสียงซึ่งห่างออกไป ด้วยสายไฟที่ยาว ในกรณีเช่นนี้ถ้าไมโครโฟนต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณโดยตรง ความยาวของสายไมโครโฟนก็ไม่มีผลต่อการวัดเสียง แต่ถ้าไมโครโฟนไม่ได้ต่อตรงกับตัวขยายสัญญาณ จะต้องทำการปรับแก้ค่าที่อ่านได้เนื่องจากการสูญเสียความไวของไมโครโฟน โดยใช้เครื่องตรวจปรับความถูกต้องของการวัดเสียง

7.เสียงจากแหล่งอื่นๆ (Background Noise) การวัดระดับความดังของเสียงในบางครั้ง ต้องการวัดเฉพาะเสียงที่เกิดจากแหล่งที่สนใจเท่านั้น เสียงดังจากแหล่งอื่นจึงไม่ต้องการ จึงต้องมีการตรวจสอบว่าเสียงจากแหล่งอื่นๆ โดยรอบทั้งหมด ต่อจากนั้นเปิดทำงานของแหล่งกำเนิดเสียงที่ต้องการและวัดเสียงทั้งหมด ถ้าพบความแตกต่างระหว่างเสียงจากแหล่งอื่นๆ กับเสียงที่วัดได้ทั้งหมดเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงทำงานมากกว่า 10 dB แสดงว่าเสียงจากแหล่งอื่นๆ ไม่มีผลต่อการวัดเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง แต่ถ้ามีความแตกต่างน้อยกว่า 10 dB แสดงว่าเสียงจากแหล่งอื่นๆ มีผลต่อการวัดระดับเสียงของแหล่งกำเนิด

## 2.9 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆ จุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา หรือจะเป็นการแกว่ง (Oscillation) รอบจุดสมดุลก็ตาม ตัวอย่างเช่น การแกว่งตัวของลูกตุ้มนาฬิกา หรือการเคลื่อนที่ของมวลที่ติดอยู่กับสปริง เป็นต้น

ถ้าสามารถมองเห็นการเคลื่อนที่แบบสั่นในลักษณะที่ช้าลงมากๆ ได้ เราจะพบรูปแบบของการเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความห่างไกลหรือความเร็วในการเคลื่อนตัวของวัตถุนั้นรอบตำแหน่งสมดุลหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เราเห็นลักษณะรูปแบบเฉพาะของการเคลื่อนที่แบบสั่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 องค์ประกอบที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่แบบสั่นนี้ได้แก่ ความถี่ (Frequency) แอมพลิจูด (Amplitude) และความเร่ง (Acceleration)



รูปที่ 2.11 ลักษณะองค์ประกอบของการสั่น [2.11]

### 1.ความถี่ (Frequency)

วัตถุที่มีการสั่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งคงที่หนึ่ง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสูงสุดค่าหนึ่งและกลับมาผ่านตำแหน่งสูงสุดอีกค่าหนึ่ง และย้อนกลับมายังตำแหน่งคงที่เดิม ถือว่ามีการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (1 Cycle) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จำนวนรอบของการสั่นของ

วัตถุในช่วงเวลา 1 วินาที จะเรียกว่า *ความถี่* ซึ่งจะมีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hertz; Hz) หรือ 1 เฮิร์ตซ์จะเท่ากับ การเคลื่อนที่ไปกลับ 1 รอบในเวลา 1 วินาที

### 2.แอมพลิจูด (Amplitude)

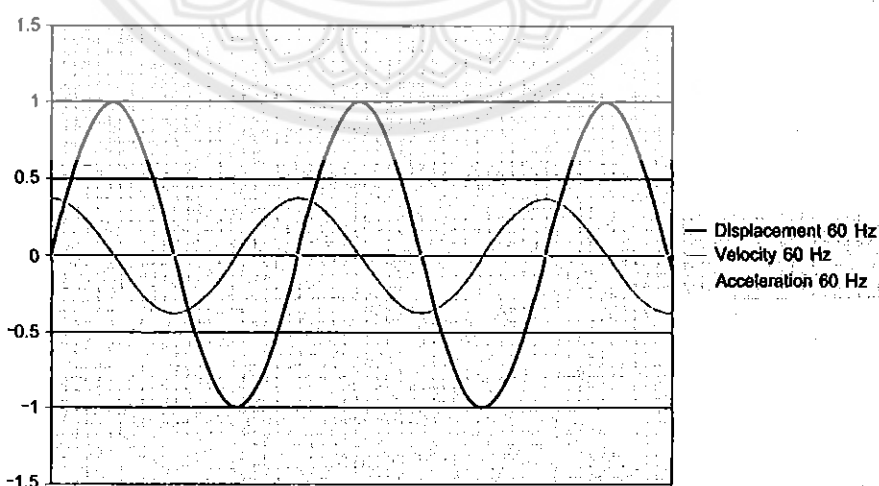
วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นจะมีค่าระยะทางหรือการขจัด (Displacement) มากที่สุดในแต่ละข้างของตำแหน่งคงที่หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งระยะทางดังกล่าวจะเรียกว่า *แอมพลิจูด* และมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (Millimeter) หรือนิ้ว (Inches) ความรุนแรงของการสั่นจะขึ้นกับค่าแอมพลิจูดนี้

### 3.ความเร็ว (Velocity)

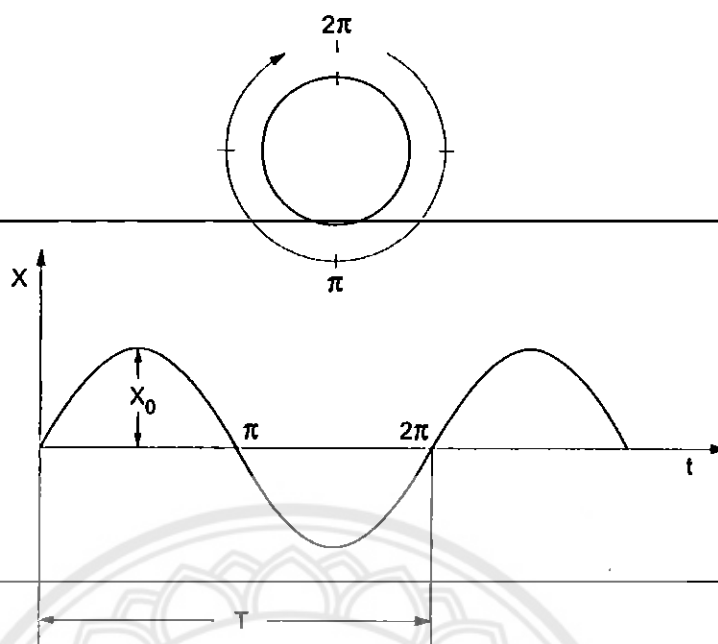
วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นจะมีการขจัด (Displacement) ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาในระหว่างการเคลื่อนที่ จะเรียกว่า *ความเร็ว* ซึ่งจะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวินาที (mm/sec) หรือนิ้วต่อวินาที (in/sec)

### 4.ความเร่ง (Acceleration)

ความเร็วของการสั่นของวัตถุจากค่า 0 ถึงค่าสูงสุดระหว่างการสั่นแต่ละรอบ ค่าการเปลี่ยนแปลงกับเวลาในระหว่างการเคลื่อนที่ จะเรียกว่า *ความเร่ง* ซึ่งจะถูกวัดเพื่อให้ทราบถึงความเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับเวลา ดังนั้นหน่วยของความเร่งจะแสดงได้ด้วยค่า มิลลิเมตรหรือนิ้วต่อวินาทียกกำลังสอง (mm/sec<sup>2</sup>) ค่าของความเร่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึงค่าสูงสุดระหว่างการสั่นแต่ละรอบ โดยจะมีค่าสูงสุดในตำแหน่งแอมพลิจูดและต่ำสุดที่ตำแหน่งสมดุล ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ที่มีความถี่เท่ากัน



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด (Displacement), ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ที่ความถี่ 60 Hz [2.12]



รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่แบบคาบเวลา [2.13]

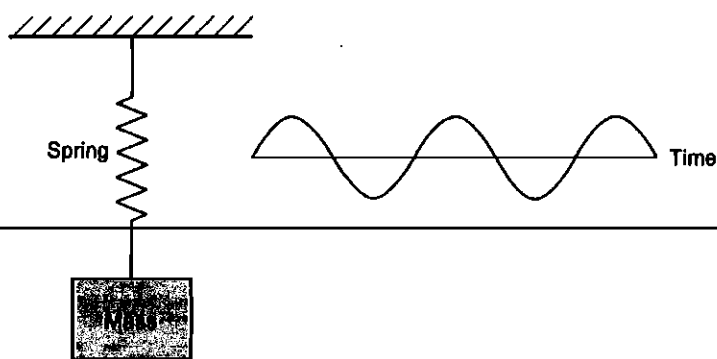
## 2.10 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน

รูปแบบการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบคาบเวลา (Periodic Motion) หรือมีลักษณะที่เคลื่อนที่แบบซ้ำๆ ในช่วงคาบเวลาที่ค่าหนึ่ง ( $T$ ) หรือ 1 รอบ ( $2\pi$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยที่ในแกนตั้งจะแทนด้วยการขจัด (Displacement;  $x$ ) และแกนนอนแทนด้วยเวลา ( $t$ ) ซึ่งการเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion) และการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)

### 2.10.1 เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion)

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเป็นการเคลื่อนที่แบบคาบเวลาที่มีความซับซ้อนน้อยและง่ายแก่การทำความเข้าใจมากที่สุด การเคลื่อนที่แบบนี้อาจมีลักษณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาที่เหมือนกับลูกตุ้ม ตัวอย่างเช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่มีการเคลื่อนที่ที่หับรอยเดิมทุกครั้งโดยมีคาบเวลาและค่าคงที่ ดังอย่างตามรูปที่ 2.14 เป็นการแขวนของวัตถุมวล  $m$  ไว้กับสปริง เมื่อมีการดึงวัตถุมวล  $m$  ลงมาด้านล่างแล้วปล่อย ก้อนวัตถุมวล  $m$  ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง เมื่อเรานำแผ่นฟิล์มที่สามารถบันทึกตำแหน่งที่ติดไว้กับก้อนวัตถุที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และแผ่นฟิล์มวิ่งผ่านด้วยความเร็วคงที่ ลักษณะของตำแหน่งที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงถึงเส้นทางการเคลื่อนที่ของมวล  $m$  ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 2.13 เช่นกัน





รูปที่ 2.14 รูปแบบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion) [2.14]

การเคลื่อนที่ของการสั่นแบบฮาร์มอนิกสามารถแสดงในรูปของฟังก์ชันทางตรีโกณมิติ แทนความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด (Displacement;  $x$ ) และเวลา ( $t$ ) ได้ดังนี้

$$X = X_0 \sin(\omega t) \quad (2.13)$$

เมื่อ  $X_0$  คือค่าการขจัดสูงสุด หรือค่าแอมพลิจูด (Amplitude)  
 $X$  คือค่าการขจัดที่เวลา  $t$  ใดๆ

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.14)$$

เมื่อ  $T$  คือคาบเวลา มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (sec) หรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 1 รอบ ซึ่งส่วนกลับคือความถี่ ( $f$ ) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (Cycle per Second; cps) หรือเฮิร์ตซ์ (Hertz; Hz)

นอกจากนั้นยังสามารถวัดความถี่ของการสั่นได้อีกวิธีหนึ่งคือ การวัดความถี่เชิงมุม (Circular Frequency;  $\omega$ ) ซึ่งมีความเป็นเรเดียนต่อวินาที (Radian per second) จากรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบของการสั่น ( $\omega t$ ) จะเกิดขึ้นเมื่อมีมุมรวมเท่ากับ 360 องศา หรือ 2 เรเดียน ที่จุดดังกล่าวจะสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.15)$$

สำหรับเครื่องจักรแบบหมุน ความถี่ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยค่าการสั่นสะเทือนต่อนาที (Vibration per Minute; vpm) หรือ

$$\text{vpm} = \frac{\omega}{\pi} \quad (2.16)$$

โดยความหมายแล้ว ความเร็วเป็นอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของการขจัดเทียบกับเวลา ซึ่งสำหรับการเคลื่อนที่สำหรับฮาร์มอนิกแล้ว สมการของการขจัดจะแสดงได้ดังสมการที่ (2.13) ซึ่งเมื่อหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการนี้เทียบกับเวลา จะได้ผลดังนี้

$$v = \frac{dX}{dt} = \dot{X} = \omega X_0 \cos(\omega t) \quad (2.17)$$

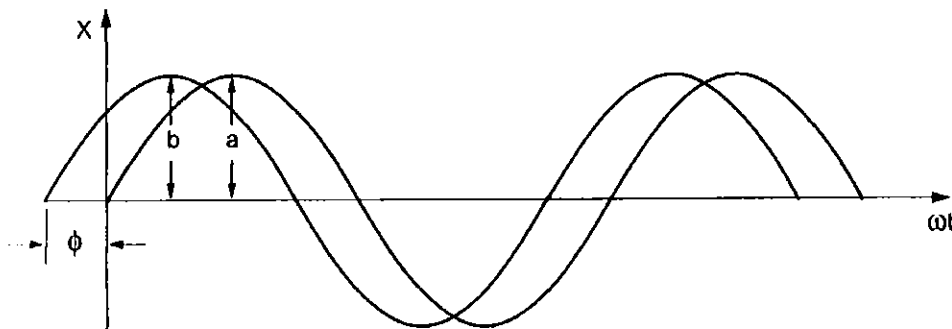
จากสมการที่ (2.17) จะพบว่าความเร็วมีลักษณะความสัมพันธ์แบบฮาร์มอนิกด้วย ทั้งนี้การขจัดต้องมีลักษณะเป็นฮาร์มอนิก และมีค่าสูงสุดหรือค่าแอมพลิจูดเท่ากับ  $-\omega X_0$

ในทำนองเดียวกัน ความเร่งเป็นอนุพันธ์ลำดับที่ 2 ของการขจัดเมื่อเทียบกับเวลา แสดงได้ดังนี้

$$a = \frac{d^2 X}{dt^2} = \ddot{X} = -\omega^2 X_0 \sin(\omega t) \quad (2.18)$$

สมการที่ (2.18) มีลักษณะเป็นฮาร์มอนิกเช่นกัน โดยมีค่าการขจัดสูงสุดหรือค่าแอมพลิจูดเท่ากับ  $\omega^2 X_0$

หากพิจารณาความถี่ 2 ค่าโดยให้มีสมการของความถี่ค่าแรกเป็น  $X_1 = a \sin(\omega t)$  และสมการของความถี่ค่าที่ 2 เป็น  $X_2 = b \sin(\omega t + \phi)$  ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งแกนนอนจะแทนด้วยค่า  $\omega t$  และค่า  $\phi$  ในสมการของ  $X_2$  คือค่ามุมเฟส (Phase Angle) ค่าเฟสที่แตกต่างกันของการสั่นทั้งสองค่านี้ และด้วยค่ามุมเฟสนี้เอง ทำให้การสั่นทั้งสองค่าดังแสดงในรูปไม่สามารถมีค่าแอมพลิจูดที่เวลาเดียวกันได้ โดยที่การสั่นค่าหนึ่งจะอยู่ห่างจากการสั่นอีกค่าหนึ่งเท่ากับ  $\phi/\omega$  วินาที ทั้งนี้การสั่นทั้งสองค่านี้ต้องมีค่าความถี่เท่ากัน ( $\omega$ ) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ามุมเฟสจะมีความหมายเพียงกรณีของการสั่นสองค่าที่มีความถี่เดียวกันเท่านั้น



รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก 2 ค่าโดยที่มีมุมเฟสระหว่างกัน [2.15]

### 2.10.2 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)

สำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์ส่วนใหญ่ ปกติแล้วจะมีแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนหลายแหล่ง ดังนั้นรูปแบบของการสั่นเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดและเวลาส่วนใหญ่จึงมีลักษณะแบบที่ไม่เป็นฮาร์มอนิก ดังแสดงในรูป 2.16

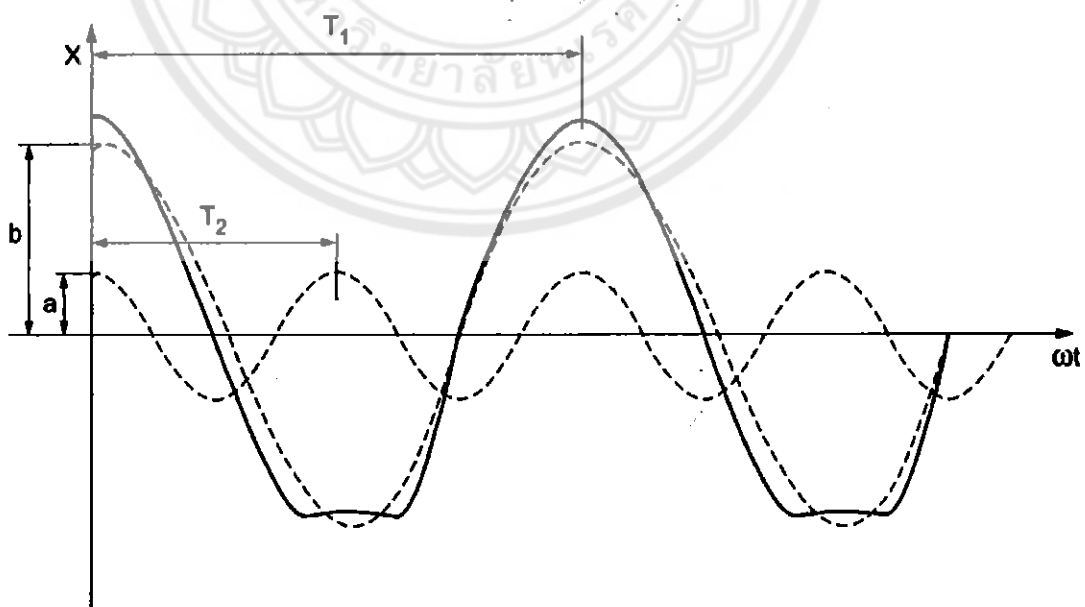
ในขณะที่ทุกๆ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกจะมีลักษณะเป็นคาบเวลา แต่ไม่ใช่ว่าทุกๆ การเคลื่อนที่ที่มีลักษณะเป็นคาบเวลาจะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเสมอไป ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิกที่เกิดจากการรวมกันของการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) สองคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน โดยที่แรกคือเส้นประที่มีค่าแอมพลิจูด  $a$  และคลื่นที่ 2 คือเส้นประที่มีแอมพลิจูด  $b$  ซึ่งเส้นโค้งดังกล่าวจะสามารถแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$X_1 = a \sin(\omega_1 t) \quad (2.19)$$

$$X_2 = b \sin(\omega_2 t) \quad (2.20)$$

การเคลื่อนที่แบบซ้อนรวมจะแทนได้ด้วยเส้นทึบที่เกิดจากการรวมกันของเส้นประทั้งสอง ซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$X = X_1 + X_2 = a \sin(\omega_1 t) + b \sin(\omega_2 t) \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion) [2.16]

สำหรับฟังก์ชันแบบคาบเวลาใดๆ สามารถเขียนแทนได้ด้วยฟังก์ชันไซน์ในลักษณะอนุกรมกัน โดยมีความถี่ที่ค่า  $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots$  ตามลำดับ ดังแสดงได้ดังนี้

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots \quad (2.22)$$

สมการที่ (2.22) รู้จักกันในชื่อของอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา ( $f(t)$ ) โดยมีค่าแอมพลิจูด ( $A_1, A_2, A_3, \dots$ ) และมุมเฟส ( $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ ) ของทุกๆ การเคลื่อนที่แบบสั้นอย่างต่อเนื่อง สามารถคำนวณค่าได้จากวิธีการทางคณิตศาสตร์เมื่อทราบค่าของฟังก์ชัน โดยทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนทั่วไป

ค่า  $2\omega, 3\omega, \dots$  จะเป็นการอ้างถึงค่าลำดับที่ฮาร์โมนิกของความถี่หลัก (Primary Frequency;  $\omega$ ) ในรูปแบบเฉพาะของการสั่นส่วนใหญ่ ค่าความถี่หลักของวัตถุจะมีค่าเป็นหนึ่งในหน่วย  $1X$  หรือ  $1\omega$  นอกจากนั้นรูปแบบลักษณะเฉพาะดังกล่าวอาจมีค่าปรากฏที่ตำแหน่งฮาร์โมนิกอื่นๆ เช่น ที่สองเท่า ( $2X$ ) สามเท่า ( $3X$ ) หรือที่ตำแหน่งอื่นๆ ของค่าความเร็วใช้งานหลัก (Primary Running Speed) ซึ่งการประยุกต์ดังกล่าวเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนต่อไปสมคุด

## 2.11 พลศาสตร์ของเครื่องจักร

เหตุผลสำคัญที่ทำให้รูปแบบการสั่นของเครื่องจักรมีความหลากหลายแตกต่างกันนั้นมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ของเครื่องจักร (Machine Dynamics) นั่นเอง โดยการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นอยู่กับมวล (Mass) ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) ความหน่วง (Damping) และองศาอิสระของการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) แต่อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการวิเคราะห์อยู่ เพราะรูปแบบของการสั่นสะเทือนและระดับพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยเครื่องจักรนั้นอาจจะแปรผันไปตามปัจจัยของตำแหน่งหรือปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ในการวัดได้อีกด้วย นอกเหนือจากปัจจัยด้านพลศาสตร์ของเครื่องจักรดังกล่าว

### 2.11.1 มวล ความมั่นคงแข็งแรง และความหน่วง

ทั้ง 3 ปัจจัยหลักนี้จะแสดงให้เห็นถึงระดับพลังงานของการสั่นโดยปกติทั่วไป และผลของรูปแบบลักษณะการสั่นดังอธิบายในหัวข้อ 2.10 ก็จะขึ้นอยู่กับมวล ความมั่นคงแข็งแรงและความหน่วง ดังนั้นจะพบว่าเครื่องจักรส่วนใหญ่ได้ถูกออกแบบให้มีระบบรองรับการเคลื่อนไหวแบบพลศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับมวลของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว ความมั่นคงแข็งแรงของระบบรองรับการเคลื่อนไหวที่กำหนด และจำนวนความหน่วงที่กำหนด

1. มวล (Mass) มวลเป็นคุณสมบัติของวัตถุในการอธิบายว่ามีปริมาณเนื้อวัสดุมากเพียงใด ณ เวลานั้น แต่สำหรับหลักการพลศาสตร์แล้ว มวลจะอธิบายถึงความสามารถของวัตถุในการต้านแรงภายนอกที่มากกระทำได้น้อยเพียงใด หรืออาจกล่าวได้ว่า ยิ่งวัตถุมีมวลมากก็ต้องใช้แรงปริมาณมากในการทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งระดับหนึ่ง ในเรื่องของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนก็เช่นกัน คือถ้าเครื่องจักรมีมวลมากและสูญเสียภาวะสมดุลแล้ว ปริมาณการสั่นก็จะมากตามไปด้วย

2. ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) ความมั่นคงแข็งแรงนี้เป็นคุณสมบัติของวัตถุที่คล้ายคุณสมบัติของสปริง ก็จะบอกถึงระดับความสามารถของวัตถุในการต้านแรงที่มากกระทำซึ่งส่งผลให้ตัววัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงระยะทางหรือมิติรูปร่าง หน่วยของความมั่นคงแข็งแรงมักจะกำหนดเป็นน้ำหนักต่อระยะทาง (lbf/in) เครื่องจักรส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติความมั่นคงแข็งแรงที่ต้องพิจารณาสำหรับการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนมากกว่า 1 แบบ ได้แก่ ความมั่นคงแข็งแรงในแกนของเพลลา (Shaft Stiffness or Longitudinal Stiffness) ความมั่นคงแข็งแรงในแนวแกนตั้ง (Vertical Stiffness) ความมั่นคงแข็งแรงในแนวแกนนอน (Horizontal Stiffness) ด้วยหลักการดังกล่าว จึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการกำหนดตำแหน่งของจุดที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรต่างๆ นั้นเอง ซึ่งจะพบว่ายิ่งค่าความมั่นคงแข็งแรงมีค่าน้อยลงเพียงใด ค่าการสั่นสะเทือนจะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

3. ความหน่วง (Damping) ความหน่วงเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงสภาพการต้านการเคลื่อนที่ที่มีผลทำให้ความเร็วของการสั่นลดลง โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงแรงต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการกระทำของของเหลวหรือแก๊ส และการเสียดสีสัมผัสวัสดุอื่น หน่วยของความหน่วงโดยมากจะกำหนดเป็นน้ำหนักต่อระยะทางต่อเวลา (lbf/in-sec or lbf-sec/in) สมดุล

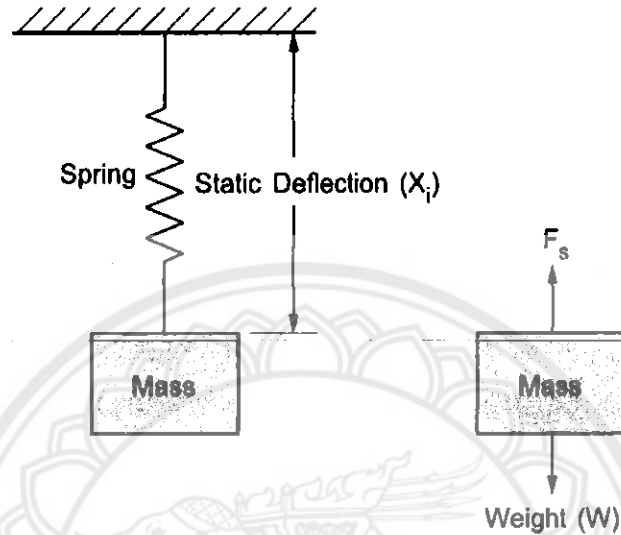
## 2.12 ชนิดของการสั่นสะเทือน

จากหลักพลศาสตร์ของเครื่องจักรที่พิจารณาปัจจัยด้านมวล (Mass) ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) ความหน่วง (Damping) รวมทั้งหลักการของการสั่นสะเทือน พบว่าสามารถแบ่งประเภทของการสั่นได้เป็น 4 แบบหลักๆ ดังนี้ดังกล่าว

### 2.12.1 การสั่นแบบอิสระโดยไม่มี ความหน่วง (Free Vibration – Undamping)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะของการสั่นแบบนี้ ให้พิจารณาตัวอย่างของการสั่นของมวล (M) ที่ผูกติดกับสปริงที่มีค่าความมั่นคงแข็งแรงค่าหนึ่ง (K เป็นค่าเดียวกันกับค่าคงที่ของสปริง) และปล่อยให้มีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในแนวแกนตั้ง ดังรูป 2.17

แรง ( $F_s$ ) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกนตั้งอันเนื่องมาจากน้ำหนักของมวล  $M$  ( $W$ ) ดังแสดงในรูป 2.18 นั้นจะพบว่า มีแรงอยู่ 2 แรงที่กระทำต่อมวล  $M$  คือแรงจากน้ำหนักแทนด้วย  $W$  และแรงจากสปริงแทนด้วย  $F_s$  ซึ่งมีค่าเท่ากัน  $F_s$  แต่อยู่ในทิศตรงกันข้าม ตามหลักของความสมดุลระบบ



รูปที่ 2.17 Undamped Spring – Mass System [2.17]

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก  $W$  มวล  $M$  และค่าการยืดที่ตำแหน่งสมดุลของสปริง  $X_s$  (Static Deflection) สามารถแสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$W = KX_s \quad (2.23)$$

ถ้าสปริงถูกยืดออกมาเป็นระยะ  $X$  จากตำแหน่งเดิมที่  $X_s$  และปล่อยให้เคลื่อนที่โดยอิสระ จะทำให้มวลเกิดการสั่นขึ้นลงด้วยความเร่ง  $a$  และแรงดึงดูด  $g_c$  ( $32.17 \text{ lbf} \cdot \text{ft} / \text{lbm} \cdot \text{sec}^2$ ) ดังนั้นแรงที่เกิดจากสปริงจะสามารถเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

$$F_s = -KX = \frac{Ma}{g_c} \quad (2.24)$$

หากแทนค่าความเร่ง  $a$  ด้วยอนุพันธ์ลำดับที่ 2 ของการขจัดเทียบเวลา ละแทนค่าการขจัด  $X$  ด้วยสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก ( $X = X_0 \cos(\omega t)$ ) จะสามารถเขียนสมการที่ (2.24) ใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} + KX = 0 \quad (2.25)$$

$$-\frac{M}{g_c} \omega^2 X_0 \cos(\omega t) + KX = 0 \quad (2.26)$$

$$-\frac{M}{g_c} \omega^2 X + KX = -\frac{M}{g_c} \omega^2 + K = 0 \tag{2.27}$$

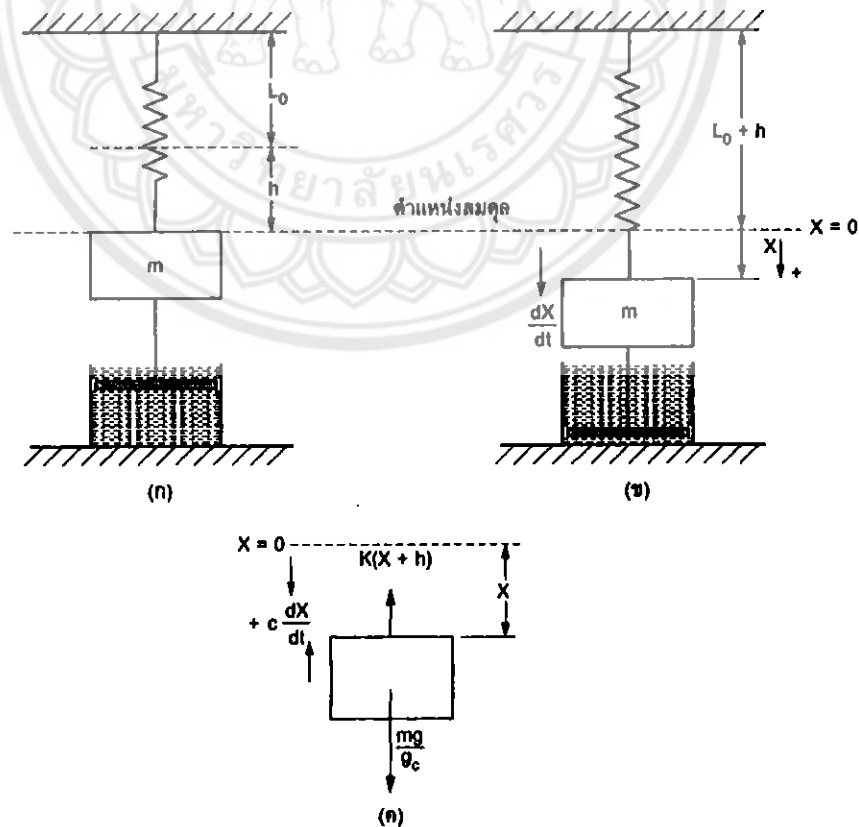
ทำการแก้สมการที่ (2.27) และจัดรูปแบบใหม่จะได้

$$\omega = \sqrt{\frac{Kg_c}{M}} \tag{2.28}$$

- เมื่อ  $\omega$  คือความถี่ธรรมชาติของมวล (Natural Frequency of Mass)
- $K$  คือค่าคงที่ของสปริง (Spring Constants)
- $M$  คือมวล (Mass)

**2.12.2 การสั่นแบบอิสระโดยมีความหน่วง (Free Vibration – Damped)**

ความซับซ้อนของระบบที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้วัตถุต่างๆ ไปมักจะเกิดความหน่วงขึ้น ดังแสดงในรูป (2.18) โดยลักษณะความหน่วงนี้เรียกว่า การหน่วงจากความหนืด (*Viscous Damping*) ซึ่งลักษณะจะคล้ายกับรูปที่ (2.17) แต่ในกรณีนี้จะมีมีความหน่วงจากการเคลื่อนที่ของมวล ผ่านของไหลที่มีแรงต้านการเคลื่อน เช่น น้ำมันหรืออากาศ เป็นต้น ความหน่วงจะทำให้ความเร็วของมวลลดลงและส่งผลเกิดพลังงานจากการสั่นขึ้น



รูปที่ 2.18 Damped Spring – Mass System [2.18]

จากรูปที่ 2.18 ระยะสมดุลเดิมของสปริงคือ  $L_0$  และระยะยืดของสปริงที่ถูกน้ำหนัก  $W$  ของมวล  $m$  ดึงลงคือ  $h$  ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำหนักของมวล  $m$  มีค่าเท่ากับ  $Kh$  รูปที่ 2.18(ก) แสดงตำแหน่งสมดุลของมวล  $m$  รูปที่ 2.18(ข) แสดงตำแหน่งของมวล  $m$  ที่ถูกดึงลงมาเป็นระยะทางเท่ากับ  $X$  จากตำแหน่งสมดุล ทั้งนี้จะพิจารณาให้ค่า  $X$  เป็นบวกในทิศทางดึงลงดังรูป รูปที่ 2.18(ค) เป็นแผนภาพอย่างง่ายของมวลและแรงที่กระทำในระบบ ซึ่งจากรูปนี้จะเห็นได้ว่าแรงจากความหน่วงมีค่าเท่ากับ  $c(dX/dt)$  เมื่อ  $c$  คือค่าคงที่ของความหน่วง ซึ่งจากรูปนี้สามารถนำมาเขียนอธิบายด้วยสมการได้ดังนี้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} = \frac{Mg}{g_c} - c \frac{dX}{dt} - K(X+h) \quad (2.29)$$

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} = Kh - c \frac{dX}{dt} - KX - Kh \quad (2.30)$$

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} = -c \frac{dX}{dt} - KX \quad (2.31)$$

หารสมการที่ (2.31) ด้วย  $M/g_c$  จะจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -\frac{cg_c}{M} \frac{dX}{dt} - \frac{Kg_cX}{M} \quad (2.32)$$

เมื่อแทนค่า  $cg_c/M = 2\mu$  และ  $Kg_c/M = \omega^2$  ในสมการที่ (2.32) จะได้

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -2\mu \frac{dX}{dt} - \omega^2 X \quad (2.33)$$

$$\frac{d^2X}{dt^2} + 2\mu \frac{dX}{dt} + \omega^2 = 0 \quad (2.34)$$

ซึ่งหากทำการแก้สมการอนุพันธ์อันดับที่ 2 นี้จะได้คำตอบคือ

$$X = Ae^{d_1 t} + Be^{d_2 t} \quad (2.35)$$

เมื่อ

$$d_1 = -\mu + \sqrt{\mu^2 - \omega^2} \quad (2.36)$$

$$d_2 = -\mu - \sqrt{\mu^2 - \omega^2} \quad (2.37)$$

จะพบว่ามีหลายเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับความหน่วง เช่น ความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) ความหน่วงมากเกินไป (Overdamping) และความหน่วงต่ำกว่าปกติ (Underdamping) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้



- ความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) จะเกิดเมื่อ  $\mu = \omega$
- ความหน่วงมากเกินไป (Overdamping) จะเกิดเมื่อ  $\mu > \omega$
- ความหน่วงต่ำกว่าปกติ (Underdamping) จะเกิดเมื่อ  $\mu < \omega$

สำหรับความหน่วงที่ต่ำกว่าค่าวิกฤต ( $\mu < \omega$ ) จะสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$x = \frac{X_0}{\alpha_1} e^{-\mu t} (\alpha_1 \cos \alpha_1 t + \mu \sin \alpha_1 t) \quad (2.38)$$

เมื่อ

$$\alpha_1 = \sqrt{\omega^2 - \mu^2} \quad (2.39)$$

### 2.12.3 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยไม่มีความหน่วง (Forced Vibration – Undamped)

สำหรับระบบการสั่นอย่างง่ายที่อธิบายก่อนหน้านี้ เป็นลักษณะการสั่นแบบอิสระที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำให้เกิดการสั่นขึ้น ซึ่งจากหลักการของการวิเคราะห้การสั่นสะเทือนจะให้ความสำคัญกับความถี่ธรรมชาติหรือความถี่สั่นพ้อง (Natural or Resonance Frequency) ที่เป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของมวล (Mass) ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) และความหน่วง (Damping) ของวัตถุที่พิจารณาเป็นหลัก

ยิ่งไปกว่านั้นการสั่นอันเนื่องมาจากปัจจัยเฉพาะทั้งสามนั้นยังสามารถถูกรบกวนทำให้รูปแบบการสั่นของวัตถุผิดแปลกไปได้อีกมากจากการกระทำของแรงภายนอกระบบที่มีต่อวัตถุนั้น ลองพิจารณารูปที่ (2.28) โดยเพิ่มแรงกระทำจากภายนอกกับมวล (Mass) ขนาดเท่ากับ  $F_0$  ในทิศทางตั้งลง และแทนค่า  $F_0 \sin(\omega t)$  ในสมการ (2.25) จะได้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + KX = F_0 \sin(\omega t) \quad (2.40)$$

เนื่องจากสปริงจะเคลื่อนที่ตามแรง  $F_0 \sin(\omega t)$  ดังนั้นค่า  $X$  จะเท่ากับ  $X_0 \sin(\omega t)$  และเมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.40) และแก้สมการจะได้

$$x = C_1 \sin(\omega_n t) + C_2 \cos(\omega_n t) + \frac{X_{st}}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \sin(\omega t) \quad (2.41)$$

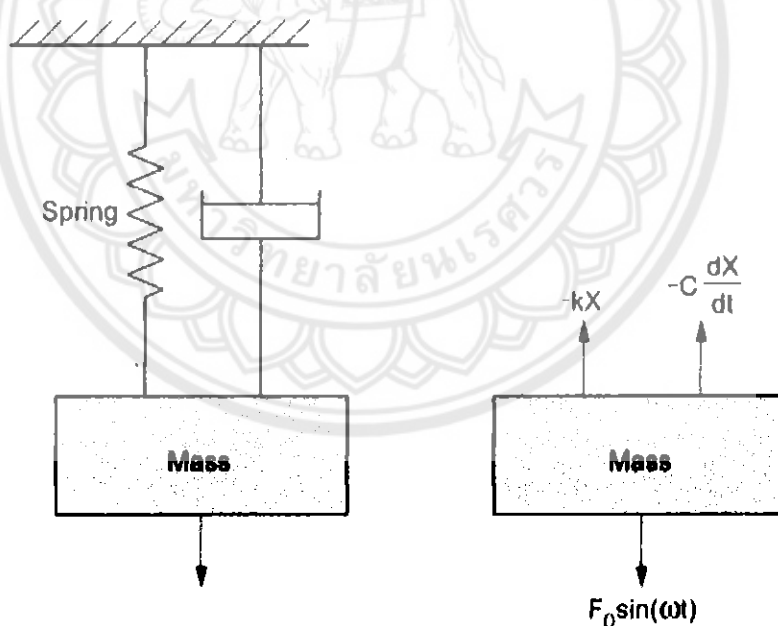
- เมื่อ
- |            |  |
|------------|--|
| $X$        | การขจัดของสปริงที่เวลา $t$                 |
| $X_{st}$   | การขจัดคงที่ของสปริงเมื่อรับแรงคงที่ $F_0$ |
| $\omega$   | ความถี่ที่เกิดจากแรงภายนอก                 |
| $\omega_n$ | ความถี่ธรรมชาติของการสั่น                  |

$t$  เวลา  
 $C_1, C_2$  ค่าคงที่

จากสมการที่ (2.41) เทอมที่ 1 และ 2 จะแสดงถึงการสั่นแบบอิสระ โดยไม่มีความหน่วง และในเทอมที่ 3 จะแสดงถึงการสั่นที่มีแรงกระทำจากภายนอก โดยไม่มีความหน่วง คำตอบจะเป็นการรวมกันของคลื่นรูปไซน์ 2 คลื่นที่มีความถี่ต่างกัน จึงอาจสรุปได้ว่าการสั่นแบบนี้จะเป็นการเคลื่อนที่แบบคาบเวลา แต่จะไม่ใช้การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก

#### 2.12.4 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยมีความหน่วง (Forced Vibration – Damped)

สำหรับระบบการสั่นที่มีแรงกระทำจากภายนอกพร้อมกับมีความหน่วงด้วยนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ (2.19) การเคลื่อนที่ของมวล  $M$  (Mass) ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ (1) การสั่นแบบอิสระที่มีการหน่วงที่ความถี่ธรรมชาติ (2) การเคลื่อนที่แบบคงตัวในรูปแบบของฮาร์มอนิกที่ความถี่ตามการกระทำของแรง ความถี่ธรรมชาติของวัตถุที่เกิดจากการหน่วงจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับกรณีความถี่ธรรมชาติฮาร์มอนิกคงตัว (Steady – state Harmonic) ที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอกจะดำเนินต่อไปตราบเท่าที่ยังคงพลังงานจากแรงที่กระทำอยู่



รูปที่ 2.19 Damped Forced Vibration System [2.19]

สำหรับสมการของการสั่นแบบที่มีแรงกระทำภายนอกและมีความหน่วงด้วยนั้น ให้พิจารณาจากสมการของการสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงได้เลย โดยเปลี่ยนเทอมด้านขวามือจากค่า 0 เป็นฟังก์ชันของแรงคือ  $F_0 \sin(\omega t)$  ของสมการที่ (2.25) จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + c \frac{dX}{dt} + KX = F_0 \sin(\omega t) \quad (2.42)$$

ด้วยภาวะการสั่นที่มีความหน่วง ดังนั้นจึงทำให้ค่าคงที่ของความหน่วง  $C$  มีค่าไม่เท่ากับ 0 ซึ่งส่งผลให้คำตอบของสมการมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

สมมติให้  $X = X_0 \sin(\omega t - \phi)$  โดยที่  $\phi$  คือค่ามุมเฟส (Phase Angle) หรือเป็นค่ามุมสที่แรงกระทำจากภายนอก  $F_0 \sin(\omega t)$  กระทำกับการขจัด  $X_0 \sin(\omega t - \phi)$  โดยใช้หลักการของเวกเตอร์เพื่อการหาคำตอบของสมการสามารถแสดงได้ดังนี้

เวกเตอร์ของแรงในแนวแกนตั้ง :

$$KX_0 - \frac{M}{g_c} \omega^2 X_0 - F_0 \cos \phi = 0 \quad (2.43)$$

เวกเตอร์ของแรงในแนวแกนนอน :

$$c\omega X_0 - F_0 \sin \phi = 0 \quad (2.44)$$

เมื่อแก้สมการ โดยการแทนค่าสมการเวกเตอร์ทั้งสองด้านบนเพื่อหาค่า  $X_0$  และ  $\phi$  จะได้คำตอบดังนี้

$$X_0 = \frac{F_0}{\sqrt{(c\omega)^2 + (K - \frac{M}{g_c} \omega^2)^2}} \quad (2.45)$$

$$= \frac{F_0/K}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}) + (2 \frac{c}{c_c} \times \frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad (2.46)$$

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{K - \frac{M}{g_c} \omega^2} = \frac{2 \frac{c}{c_c} \times \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - (\frac{\omega^2}{\omega_n^2})} \quad (2.47)$$

เมื่อ  $C$  ค่าคงที่ของการหน่วง (Damping Constant)

$C_c$  การหน่วงวิกฤต (Critical Damping) =  $2(M/g_c)\omega_n$

$c/C_c$  อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)

$F_0$  แรงกระทำจากภายนอก (External Force)

$F_0/K$  การสูญเสียของสปริงภายใต้ภาระ  $F_0$  หรือค่าการเสียรูปคงที่ (Static Deflection;  $X_{st}$ )

$\omega$  ความถี่จากแรงภายนอก (Force Frequency)

$\omega_n$  ความถี่ธรรมชาติของการสั่น (Natural Frequency)

$\omega/\omega_n$  อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio)

สำหรับการสั่นแบบมีแรงกระทำจากภายนอกนั้น พบว่ามีความถี่ที่แตกต่างกันแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบที่สำคัญดังนี้คือ

1. ความถี่ธรรมชาติโดยไม่มี ความหน่วง (Undamped Natural Frequency)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{Kg_c}{M}} \quad (2.48)$$

2. ความถี่ธรรมชาติโดยมี ความหน่วง (Damped Natural Frequency)

$$q = \sqrt{\frac{Kg_c}{M} - \left(\frac{cg_c}{2M}\right)^2} \quad (2.49)$$

3. ความถี่สั่นพ้อง (Resonant Frequency) สมดุล

## 2.13 สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อ การวัดการสั่นสะเทือน

สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบทั้ง โดยตรงและโดยอ้อมต่อการวัดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกล โดยเฉพาะหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่ง (Accelerometer) เพราะในบางครั้งผลของสภาพแวดล้อมเหล่านี้ อาจอาจทำให้ค่าของการสั่นสะเทือนเกิดการเบี่ยงเบนได้ ทำให้ค่าของการสั่นสะเทือนที่ได้มาไม่ตรงกับความเป็นจริง ซึ่งสภาพแวดล้อมเหล่านี้ ประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้นรอบข้าง การรบกวนจากการแผ่รังสี และผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็กที่กระทำกับหัววัดการสั่นสะเทือน เป็นต้น

### 2.13.1 ผลกระทบจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิรอบข้างมีผลกระทบต่อหัววัดการสั่นสะเทือน ซึ่งถ้าอุณหภูมิรอบข้างของหัววัดการสั่นสะเทือนมีค่าสูงเกินขีดจำกัดของหัววัดแล้ว จะมีผลทำให้ค่าที่วัดได้จากหัววัดการสั่นสะเทือนนั้นเกิดการเบี่ยงเบนไปจากค่าความเป็นจริงได้ โดยทั่วไปแล้วในการเลือกใช้หัววัดการสั่นสะเทือนนั้น ก่อนทำการเลือกใช้หัววัดควรทำการตรวจสอบอุณหภูมิและตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งหัววัดนั้นก่อน แล้วเลือกหัววัดที่มีคุณสมบัติที่ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่ตำแหน่งจะติดตั้งหัววัดนั้น ซึ่งหัววัดขนาดกลางๆที่นิยมใช้ทั่วไป ค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมข้างเคียงจะอยู่ระหว่าง -40 ถึง 85 c แต่ถ้าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมข้างเคียงสูงกว่านี้มาก ก็ควรเลือกหัววัดพิเศษที่สามารถทำงานในช่วงอุณหภูมินั้นได้

### 2.13.2 ผลกระทบจากความชื้นรอบข้าง

ในการติดตั้งหั่ววัดการสันสะเทือนบนเครื่องจักรกลนั้นตามข้อต่อสายต่างๆจะป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้าโดยการใส่ซีลหรือหุ้มฉนวนเอาไว้เมื่อนำหั่ววัดนั้นไปติดตั้งบนเครื่องจักรบริเวณที่มีความชื้นสูง เช่น เครื่องจักรบนหอระบายความร้อน ซึ่งบริเวณนี้มีทั้งความชื้นสูงและอุณหภูมิสูง ทำให้อายุการใช้งานของซีลหรือฉนวนที่หุ้มข้อต่อสายนำสัญญาณเมื่อยุติการใช้งานที่สั้นลง เมื่อซีลหรือฉนวนเกิดการชำรุดหรือสึกกร่อนประกอบกับความชื้นที่สูงในบริเวณนั้น ทำให้เป็นสาเหตุของการรั่วไหลของสัญญาณทางไฟฟ้าได้

### 2.13.3 ผลกระทบจากการแผ่รังสี

จากการใช้งานโดยทั่วไปพบว่าผลกระทบที่เกิดจากการแผ่รังสีในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งของหั่ววัดการสันสะเทือนนั้น อาจไม่ค่อยมีผลกระทบต่อสัญญาณการสันสะเทือนมากนัก แต่ถ้าการแผ่รังสีในบริเวณที่สูงมากเกินไป ก็อาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณการสันสะเทือนได้เช่นกัน

### 2.13.4 ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก

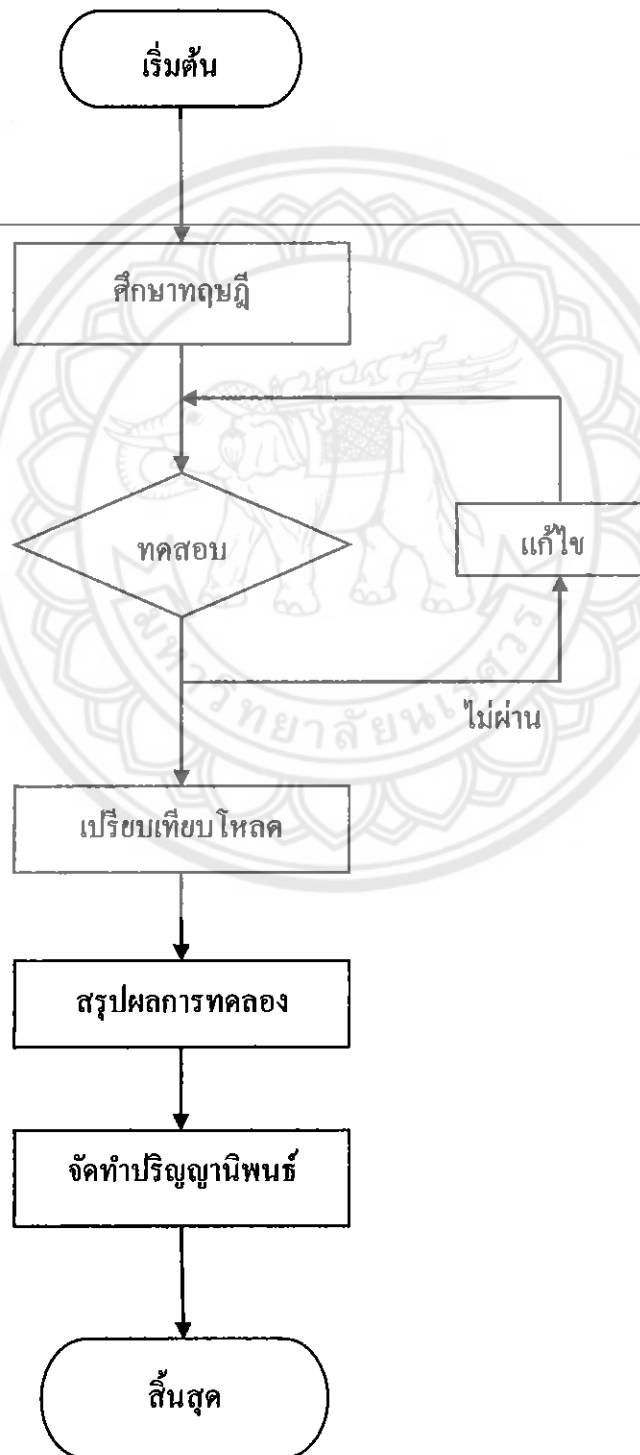
โดยทั่วไปแล้วพบว่าผลกระทบที่เกิดจากอำนาจแม่เหล็กในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งของหั่ววัดการสันสะเทือนนั้น ไม่ค่อยมีผลกระทบต่อสัญญาณการสันสะเทือนมากนัก แต่ถ้าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นสูงมากเกินไป ก็อาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณการสันสะเทือนได้เช่นกัน

นอกจากผลกระทบที่กล่าวมาแล้วนี้ ยังมีผลกระทบอย่างอื่นอีกที่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อหั่ววัดการสันสะเทือน เช่น ความแข็งแรงของขายึดหั่ววัดการสันสะเทือน สภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนอย่างรุนแรง เสียงที่มีความดังสูงมาก เป็นต้น

### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการศึกษาและออกแบบการทดลอง

ในการสร้างและออกแบบการทำงานทั้งหมด ได้มีการวางแผนการดำเนินงานเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน สามารถแสดงได้ดังแผนผังการทำงานดังนี้



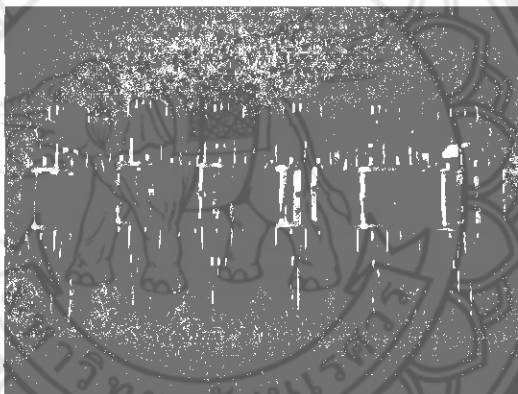
ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงแนวทางในการออกแบบการทดสอบสมรรถนะของอินคักชันมอเตอร์เพื่อศึกษา เปรียบเทียบและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนและเสียงที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยมีการกำหนดโหลด เพื่อเปรียบเทียบการสั่นสะเทือน และเสียงที่เกิดขึ้น

โครงการนี้ได้ทำการทดลองแยกเป็น 3 การทดลองคือ เรื่องความเร็วรอบ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน และเสียงที่เกิดขณะมอเตอร์ทำงาน

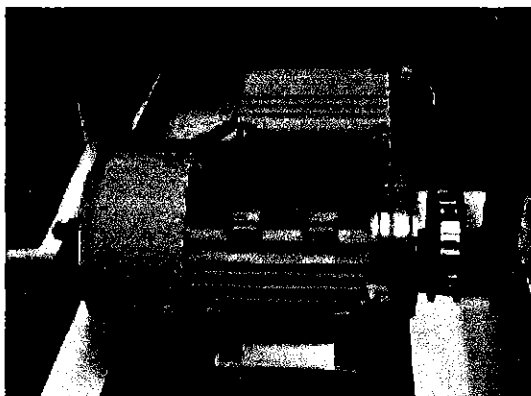
### 3.1 อุปกรณ์การทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน

#### 3.1.1 อุปกรณ์การทดลองการสั่นสะเทือน

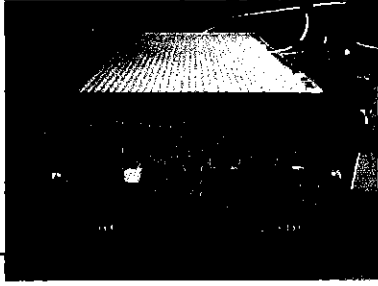
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ดังรูปต่อไปนี้



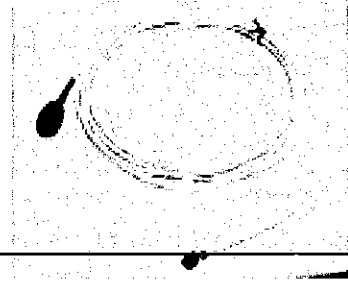
รูปที่ 3.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก



รูปที่ 3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส



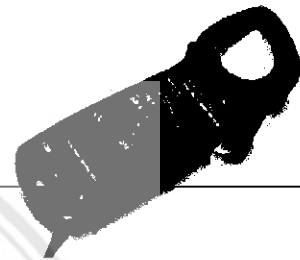
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์แปลงสัญญาณการสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.4 สายนำสัญญาณการสั่นสะเทือน



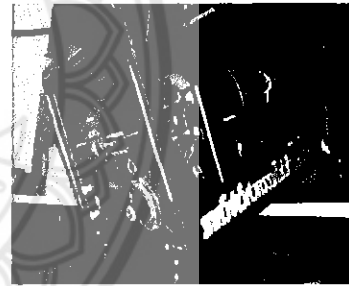
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด



รูปที่ 3.6 คิวติคอลแคมป์มิเตอร์คล้องสายไฟ



รูปที่ 3.7 ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.8 Electrodynamicmeter



รูปที่ 3.9 การทดสอบมอเตอร์

### 3.1.2 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

1. ศึกษาการทดสอบมอเตอร์ที่เกิดความเสียหายของบาร์โรเตอร์ (มอเตอร์แตก 0-5 บาร์) และศึกษาการทดสอบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์



2. ออกแบบการต่อวงจรในการทดลองและศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้
3. ต่อวงจรการทดลองเพื่อทดสอบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์
4. ทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่มีโหลดระหว่าง 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการพร้อมทั้งบันทึกกราฟคลื่นของการสั่นสะเทือนผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

5. ทำการทดสอบมอเตอร์ที่ความเสียหายของบาร์โรเตอร์ที่ความเสียหาย 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์, 5 บาร์, ในแต่ละความเสียหายให้ทดลองซ้ำในข้อที่ 4. แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการพร้อมทั้งบันทึกกราฟคลื่นของการสั่นสะเทือนที่สถานะที่ไม่มีโหลด

6. รวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆและกราฟของคลื่นการสั่นสะเทือนที่ได้แล้วนำมาวิเคราะห์ผล

### 3.1.3 วิธีทดสอบและลักษณะการติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือน

ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส นำมอเตอร์แบบกรงกระรอกทั้ง 6 แบบ เริ่มจากมอเตอร์แบบกรงกระรอกแบบปกติ จากนั้นติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือนบริเวณที่ต้องการทดสอบ โดยค่าเอาต์พุตที่ได้ต่อเข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคปจะได้เป็นกราฟเวฟฟอร์มออกมา ทำเช่นนี้อีก 5 ครั้ง โดยเปลี่ยนมอเตอร์แบบกรงกระรอกแบบปกติเป็นแบบ แดก 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์ และ 5 บาร์ และทำการวัดค่าแต่ละครั้ง

### 3.1.4 ทำการทดสอบเพื่อดูค่าแอมพลิจูดกราฟสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนสถานะต่างๆ

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเสร็จสิ้น ทำการปรับสถานะโหลดโดยให้ขับ โหลดที่ 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100%

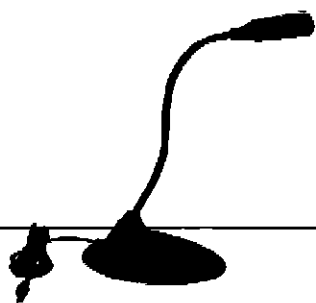
### 3.1.5 การทดสอบเพื่อดูค่าแอมพลิจูดกราฟ

จากการทดลองที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคป ค่าสัญญาณที่ได้จะออกมาในรูปแบบของกราฟ นำกราฟค่าสัญญาณที่ได้มาบันทึกลงใน โปรแกรม Excel

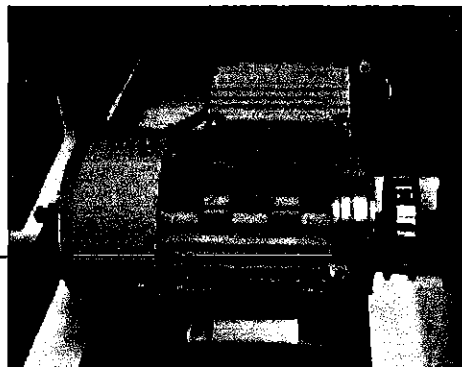
## 3.2 อุปกรณ์การทดลองของเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน

### 3.2.1 อุปกรณ์การทดลองของเสียง

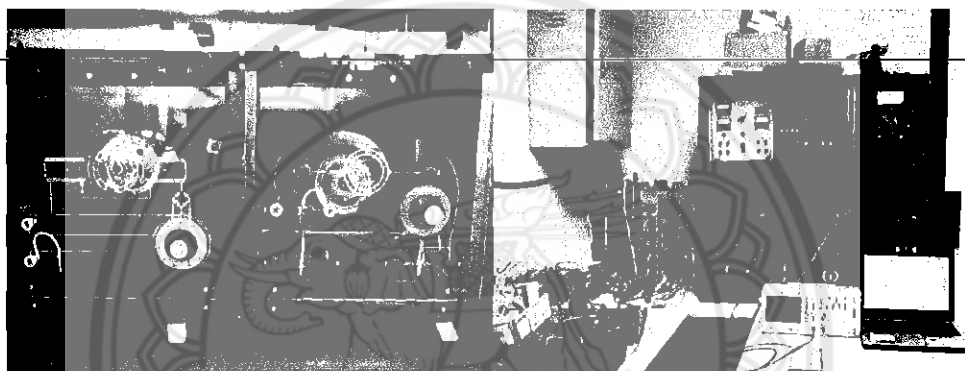
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีทั้ง ไมโครโฟน มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส แหล่งจ่ายไฟคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูป



รูปที่ 3.10 ไมโครโฟน



รูปที่ 3.11 มอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.12 การทดสอบมอเตอร์

### 3.2.2 อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์เสียง

ในการวัดและวิเคราะห์เสียงในมอเตอร์นั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วนด้วยกัน เช่น ไมโครโฟน เครื่องมือวัดและบันทึกผล ระบบคอมพิวเตอร์พร้อมซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์

### 3.2.3 การออกแบบการทดลองของเสียง

การวัดค่าพารามิเตอร์ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีการทำงาน ในสถานะที่มีโหลดและไม่ มีโหลด(ใช้วิธีปรับค่าทอร์ค) ระหว่าง 20%, 40%, 60%, 80%, 100% แล้วทำการบันทึกรูปกราฟ โดย รูปกราฟที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

1. ทำการทดสอบมอเตอร์เสี่ยหายที่บาร์ โรเตอร์ 1บาร์, 2 บาร์, 3บาร์, 4 บาร์, 5 บาร์, และ ศึกษาการทดสอบการเสี่ยงที่เกิดขึ้นของมอเตอร์และบันทึกสัญญาณรูปคลื่นเสี่ยงจากไมโครโฟน ผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

2. ทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่มีโหลดระหว่าง 20% ถึง 100% แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการพร้อมทั้งบันทึกกราฟคลื่นของเสียงจากไมโครโฟนผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

3. ทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มีโหลด แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการพร้อมทั้งบันทึกกราฟคลื่นของเสียงที่สถานะไร้ภาระทางกล

4. รวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆและกราฟของคลื่นเสียงที่ได้แล้วนำมาวิเคราะห์ผล

### 3.2.4 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ภาระทางกลที่ต่างกัน

เมื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเกิดผลกระทบออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น ฮาร์มอนิกส์ ความร้อน และสัญญาณเสียง จะปรากฏออกมาเนื่องจากการเพิ่มภาระทางกล และจะส่งผลให้เกิดสัญญาณเสียงที่แตกต่างกันออกมา ซึ่งสามารถนำมาวินิจฉัยสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นได้

### 3.3 คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์

คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ (Computer and software) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องมือวัดและบันทึกผล เมื่อผู้ที่ทำหน้าที่ในการดำเนินการวัดเก็บค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แล้วก็จะนำข้อมูลที่ได้อ่านค่าโอนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์รองรับ สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณและสามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟแบบต่างๆ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในโครงการนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์  
เรื่องเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงานในสถานะที่ขั้วภาระทางกล และที่ไม่มีสถานะขั้วภาระทาง  
กล การสิ้นสละเทือนของมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงานสถานะขั้วภาระทางกล และที่ไม่มีสถานะขั้ว  
ภาระทางกล

#### 4.1 ผลการทดลองที่ 1 ความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์

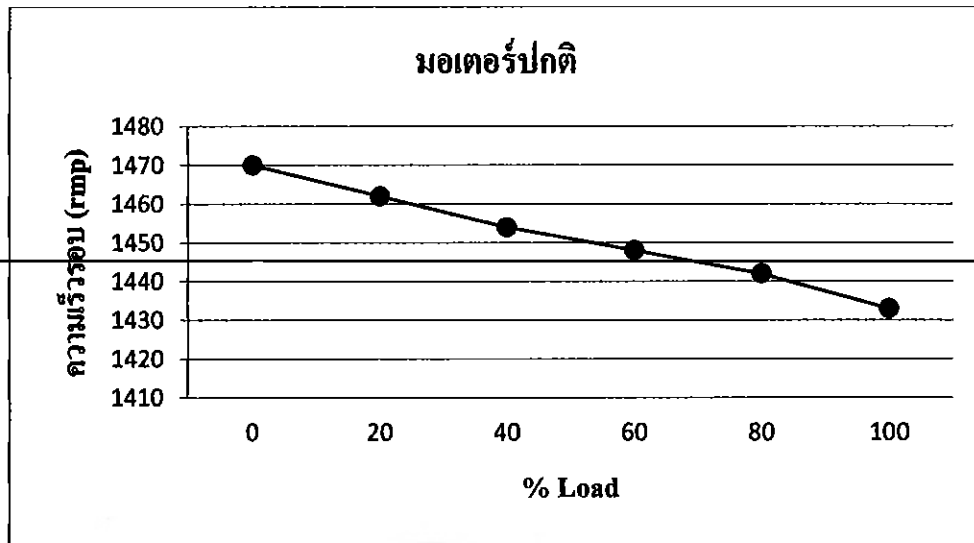
การคำนวณ โหลดมอเตอร์ไฟฟ้า

$$\%Load = \frac{I}{I_r} \times \frac{V}{V_r} \times 100\%$$

โดยที่  $I$  คือ กระแส RMS  
 $I_r$  คือ กระแสที่พิกัด จากเนมเพลต  
 $V$  คือ แรงดัน RMS  
 $V_r$  คือ แรงดันที่พิกัด จากเนมเพลต

ตารางที่ 4.1 มอเตอร์ปกติ (ไม่มีรอยแตก)

% load	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (Torque)
0%	1.970	1494	0
20%	2.056	1468	0.56
40%	2.142	1454	0.74
60%	2.228	1445	1.02
80%	2.314	1441	1.14
100%	2.400	1433	1.20

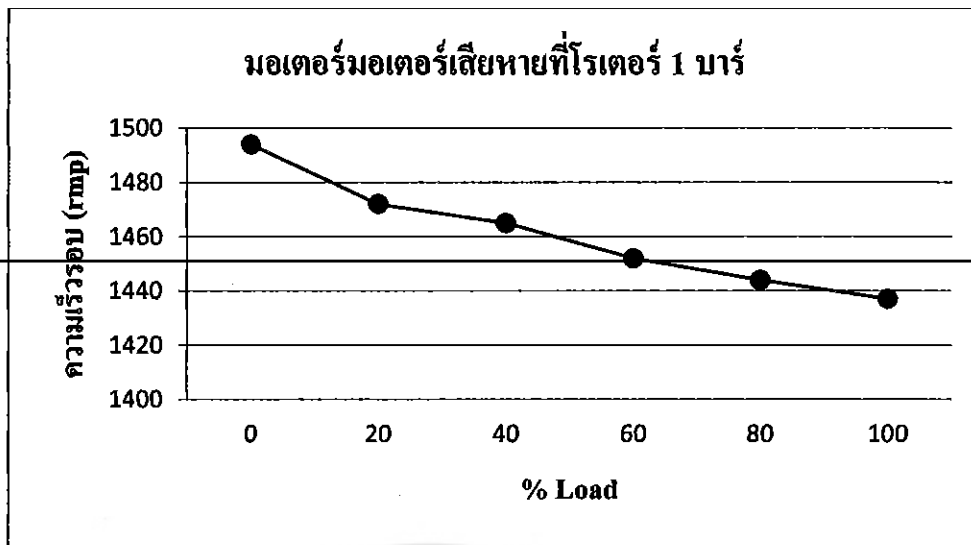


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์ปกติ [4.1]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V และปรับกระแสตามเปอร์เซ็นต์โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่าค่า ความเร็วรอบ ที่ได้จากราฟมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.2 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์

% load	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (Torque)
0%	2.015	1494	0
20%	2.092	1472	0.55
40%	2.169	1465	0.74
60%	2.246	1452	0.92
80%	2.323	1444	1.06
100%	2.400	1437	1.16

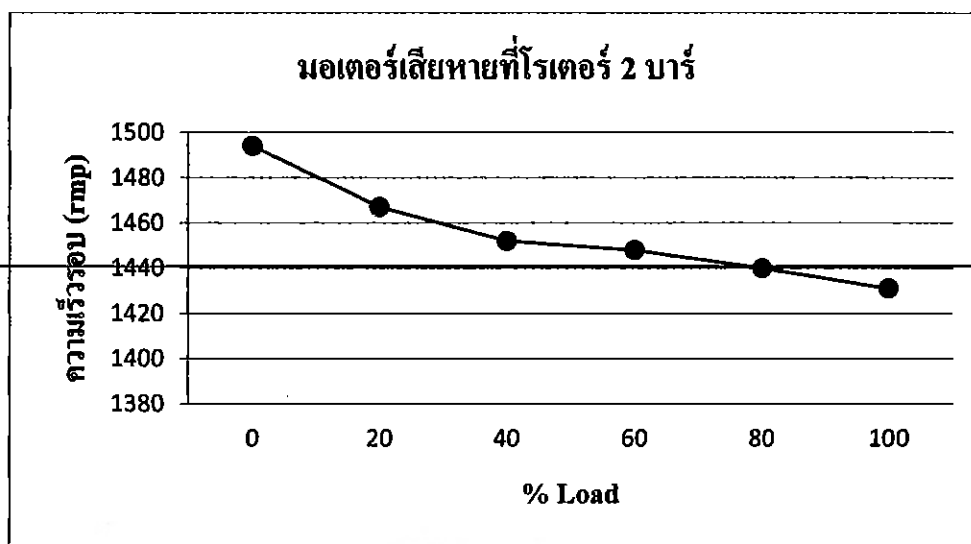


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ [4.2]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V และปรับกระแสตามเปอร์เซ็นต์โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่าค่า ความเร็วรอบ ที่ได้จากกราฟมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.3 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์

% load	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (Torque)
0%	1.930	1494	0
20%	2.024	1467	0.60
40%	2.118	1452	0.88
60%	2.212	1448	0.96
80%	2.306	1440	1.10
100%	2.400	1431	1.24

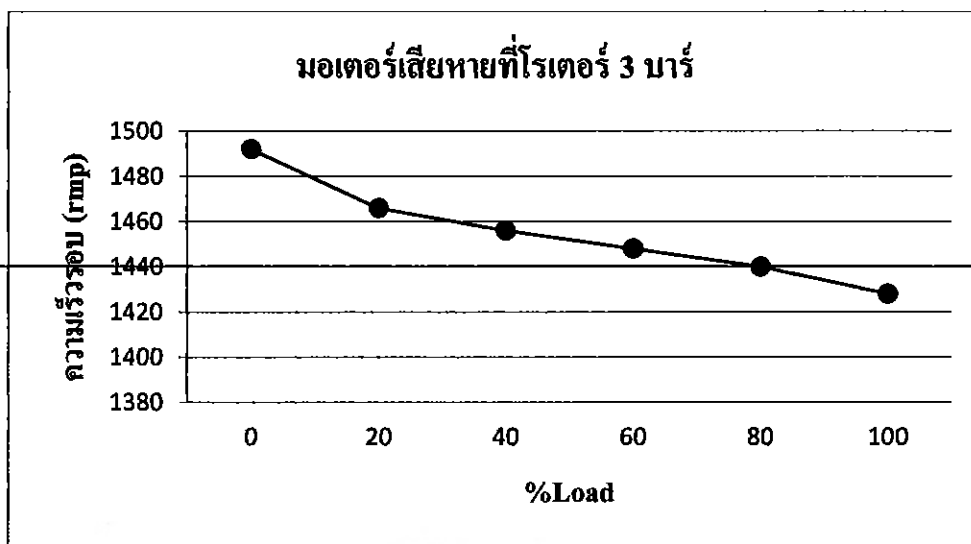


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ [4.3]

เมื่อย้ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V และปรับกระแสตามเปอร์เซ็นต์โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่าค่า ความเร็วรอบ ที่ได้จากรูปมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.4 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์

% load	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (Torque)
0%	1.940	1492	0
20%	2.032	1466	0.62
40%	2.124	1456	0.82
60%	2.216	1448	0.94
80%	2.308	1440	1.08
100%	2.400	1428	1.24



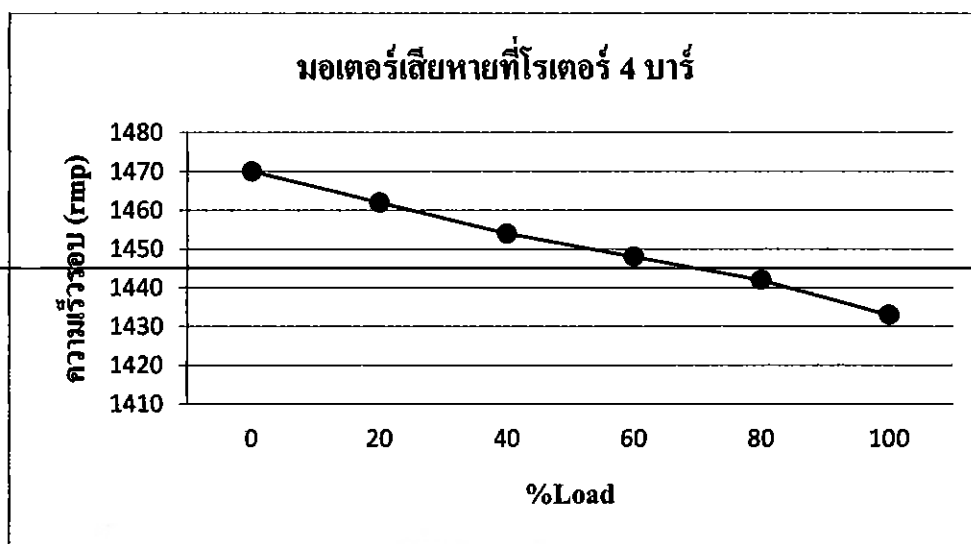
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ [4.4]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V และปรับกระแสตามเปอร์เซ็นต์โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่าค่า ความเร็วรอบ ที่ได้จากกราฟมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.5 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์

% load	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (Torque)
0%	1.965	1491	0
20%	2.052	1459	0.68
40%	2.139	1441	0.90
60%	2.226	1434	1.00
80%	2.313	1420	1.12
100%	2.400	1418	1.22



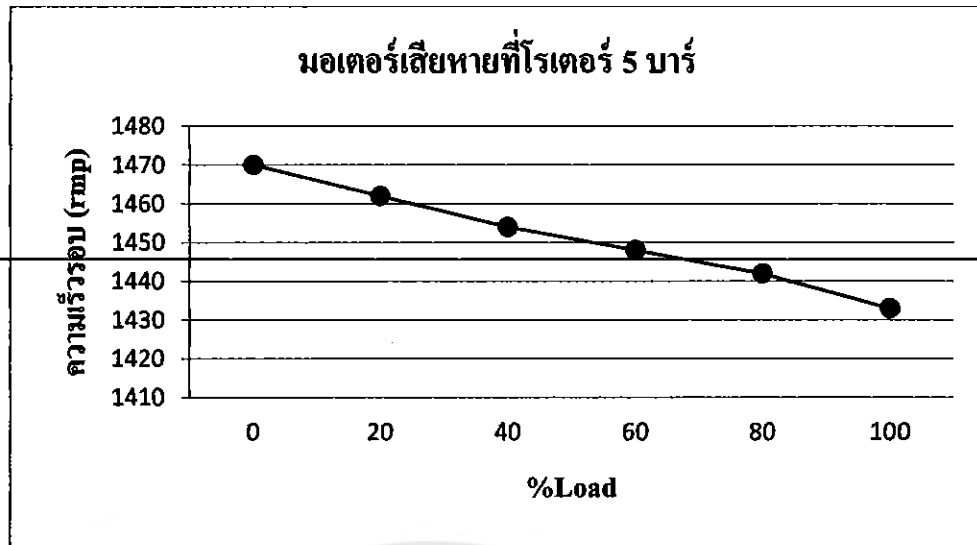


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ [4.5]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V และปรับกระแสตามเปอร์เซ็นต์โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่าค่า ความเร็วรอบ ที่ได้จากรูปมีค่าลดลง

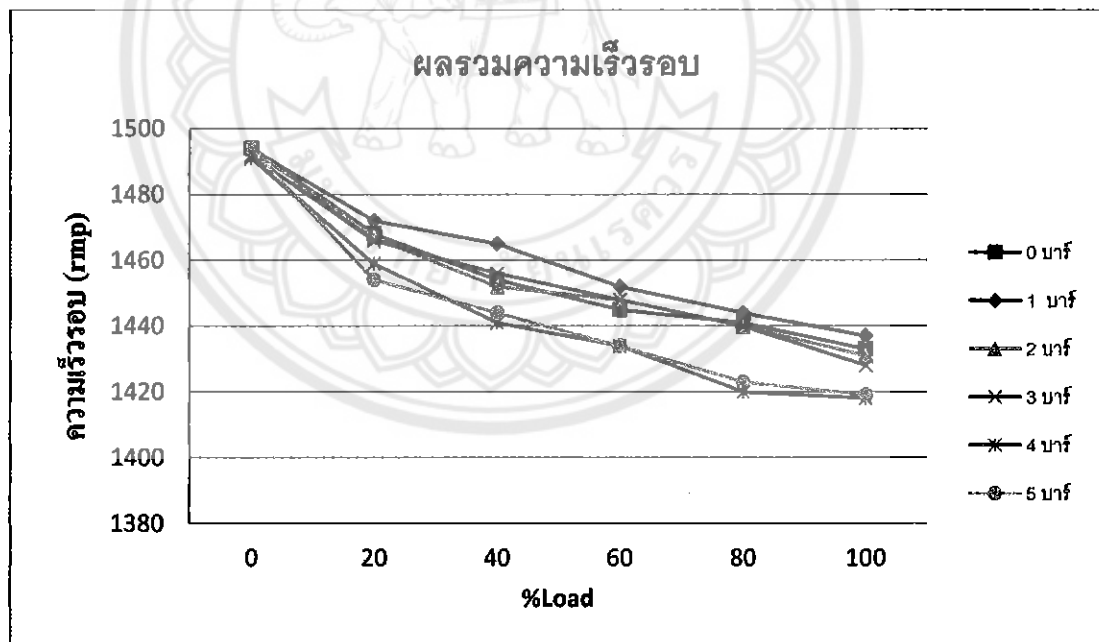
ตารางที่ 4.6 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์

% load	กระแส (A)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (Torque)
0%	1.875	1494	0
20%	1.980	1454	076
40%	2.085	1444	0.94
60%	2.190	1434	1.06
80%	2.295	1423	1.18
100%	2.400	1419	1.24



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเร็วรอบที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ [4.6]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V และและปรับกระแสตามเปอร์เซ็นต์โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่าค่า ความเร็วรอบ ที่ได้จากกราฟมีค่าลดลง

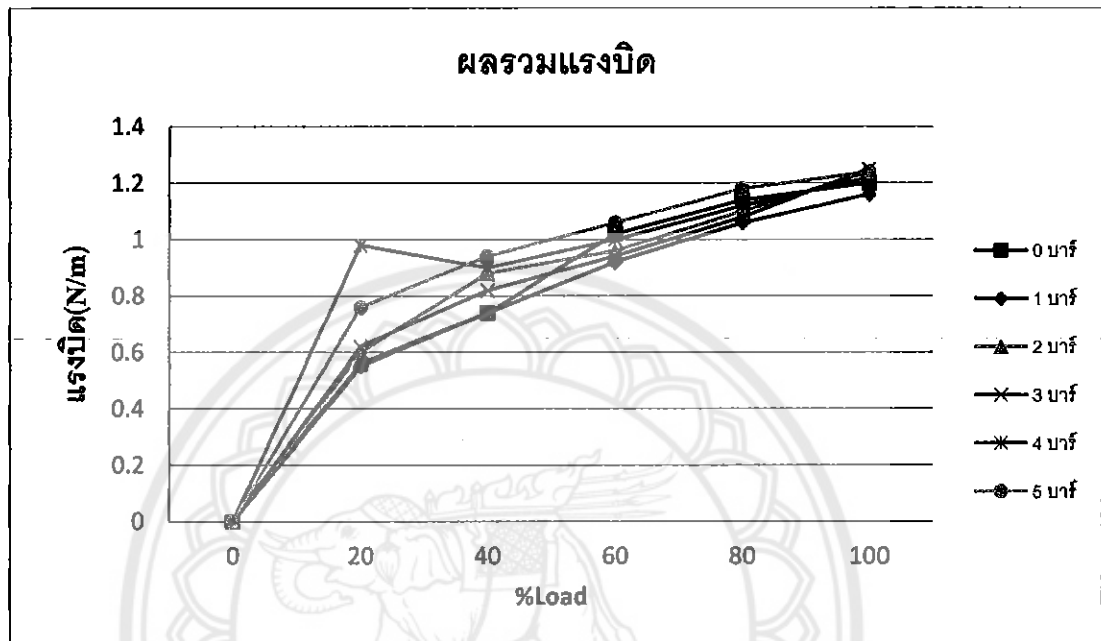


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลรวมของความเร็วรอบ[4.7]

จากการทดลองการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ในสภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ต่างๆ จะได้กราฟสเปกตรัม ซึ่งค่า ความเร็วรอบ(rpm) ของกราฟสเปกตรัมที่ได้จะบ่งถึงความเร็วรอบ ในการทดลองนี้ ได้ทดสอบถึงความความเร็วรอบ กราฟสเปกตรัมที่ได้มีค่า แอมพลิจูด ของกราฟลดลงตามเปอร์เซ็นต์โหลดยิ่งเปอร์เซ็นต์โหลดมีค่ามากค่า ความเร็วรอบที่ได้ก็มีค่าลดลง และ

ในขณะที่เดียวกันการเสียหายของมอเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความเร็วรอบยิ่งลดลงเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีโหลดเพิ่มมากขึ้น เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ทำให้ความเร็วรอบยิ่งลดลง

จากการทดลองมอเตอร์ในตารางที่ 4.1-4.6 ทำให้ได้กราฟผลของแรงบิดดังนี้

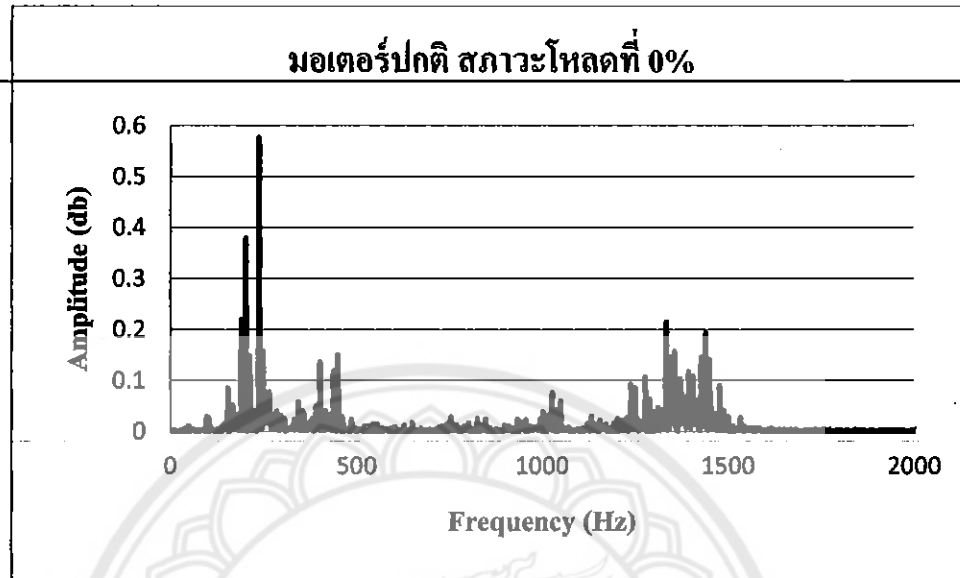


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลรวมของแรงบิด [4.8]

จากการทดลองการวัดค่าแรงบิดของมอเตอร์ในสภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ต่างๆ จึงได้สรุปเป็นกราฟ ซึ่งค่า แรงบิดที่ได้จากกราฟจะบ่งถึงความรุนแรงของแรงบิดที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้ ได้ทดสอบถึงแรงบิด กราฟที่ได้มีค่า แรงบิดของกราฟเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โหลด ยิ่งเปอร์เซ็นต์โหลดมีค่ามากค่า ค่าของแรงบิดที่ได้ก็มีค่ามากขึ้น และในขณะที่เดียวกันการเสียหายของมอเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าของแรงบิดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีโหลดเพิ่มมากขึ้น เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น แล้วทำให้แรงบิดมีค่าเพิ่มมากขึ้น

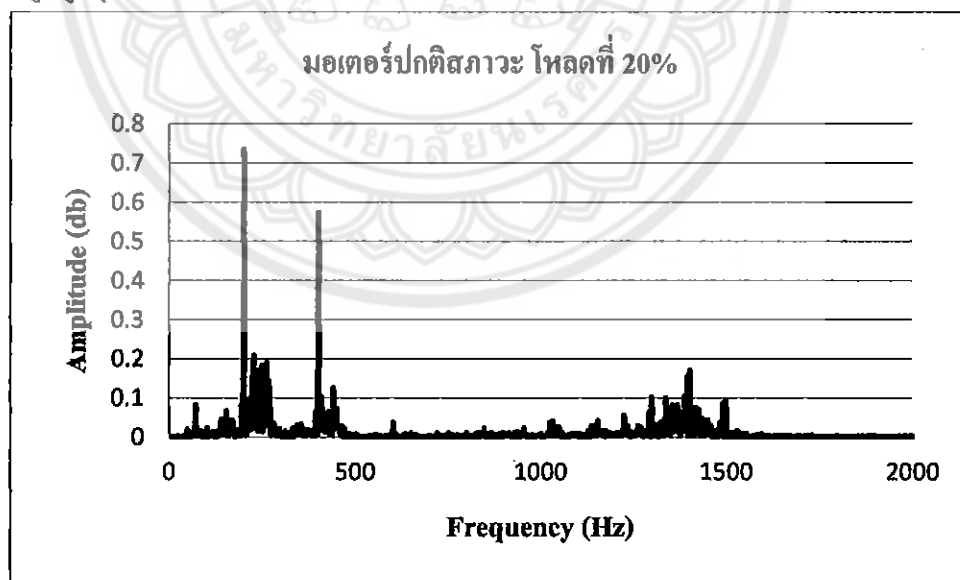
## 4.2 ผลการทดลองที่ 2 เสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่มอเตอร์ทำงาน

### 4.2.1 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์ปกติ



รูปที่ 4.9 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะโหลด 0% [4.9]

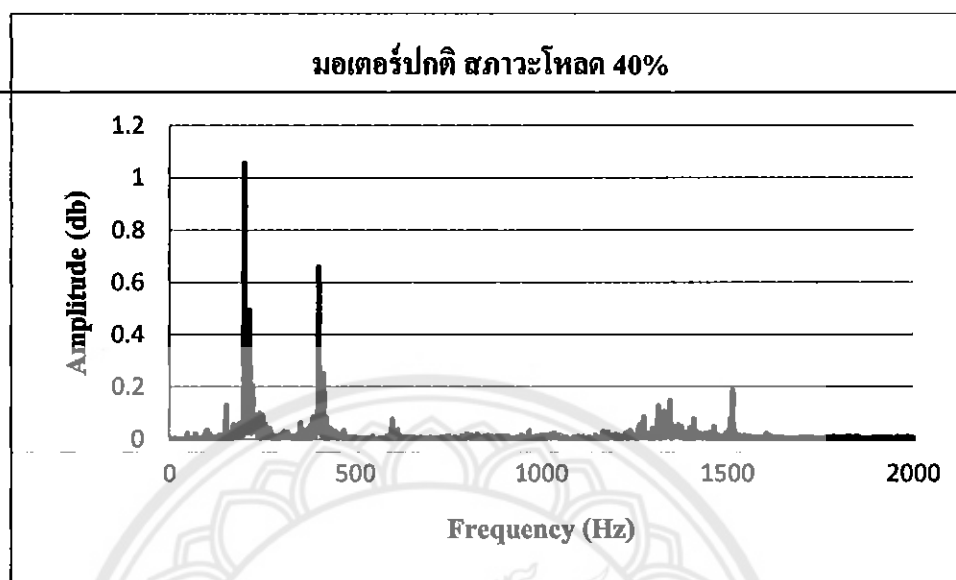
เมื่อย้ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 220 V แล้วปรับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.57



รูปที่ 4.10 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะโหลด 20% [4.10]

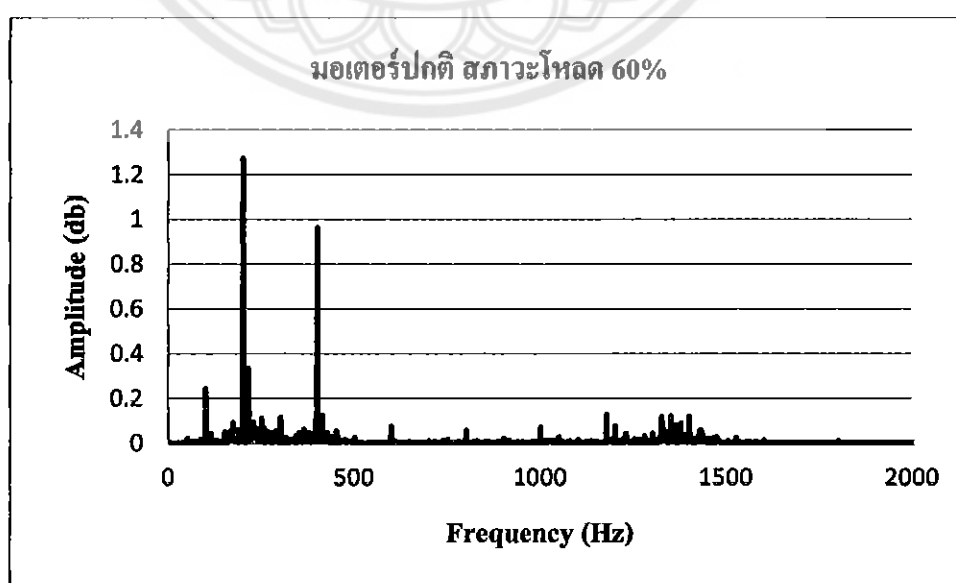
เมื่อย้ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 220 V แล้วปรับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.736 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 0

เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



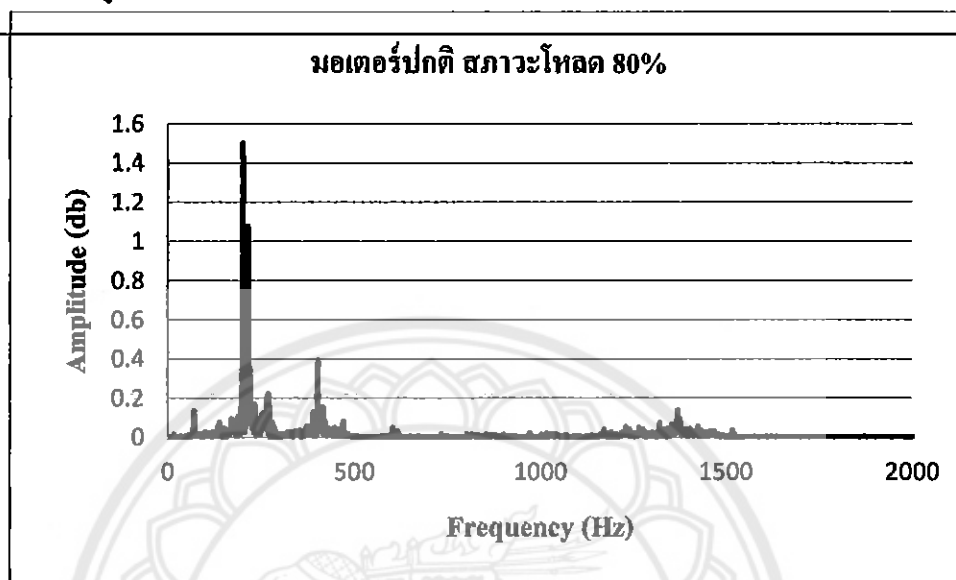
รูปที่ 4.11 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะ โหลด 40% [4.11]

เมื่อจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.054 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



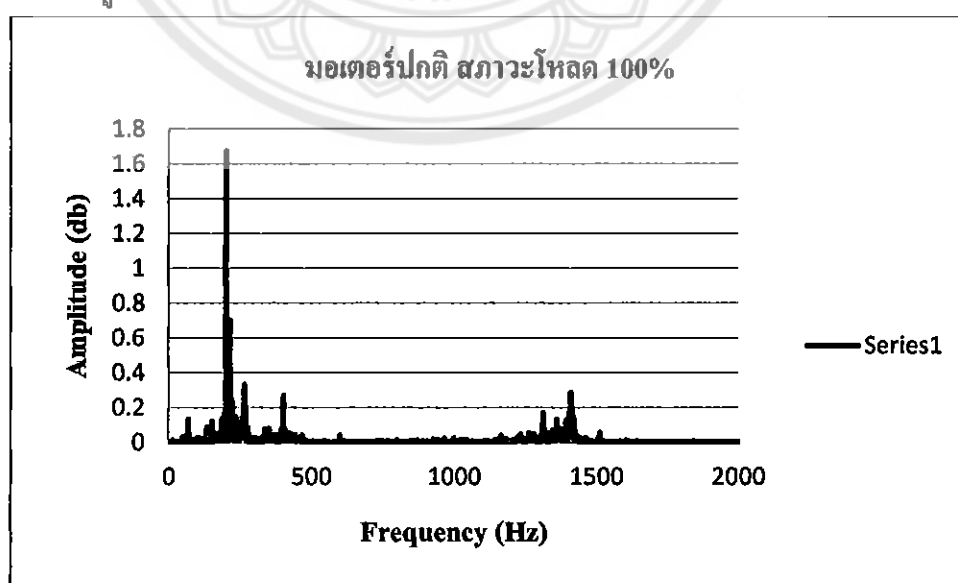
รูปที่ 4.12 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะ โหลด 60% [4.12]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.272 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.13 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะ โหลด 80% [4.13]

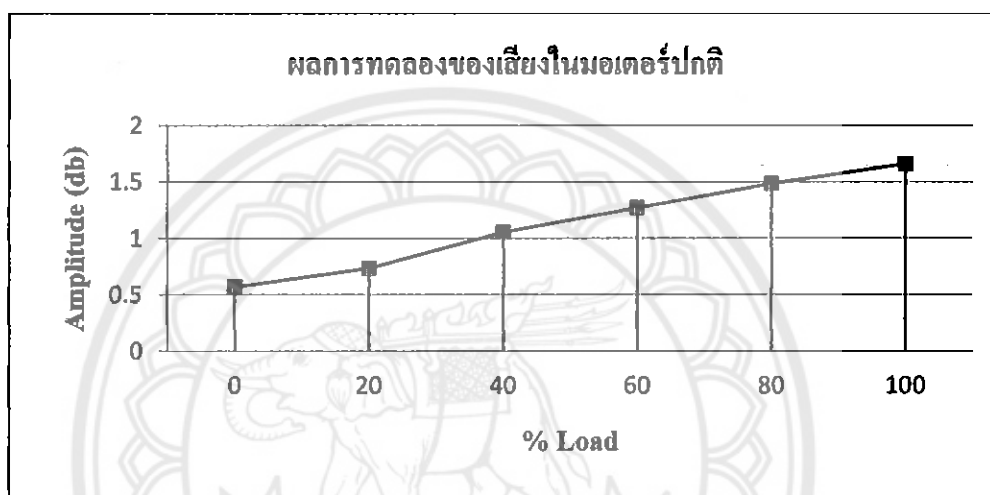
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.486 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.14 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะ โหลด 100% [4.14]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.661 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

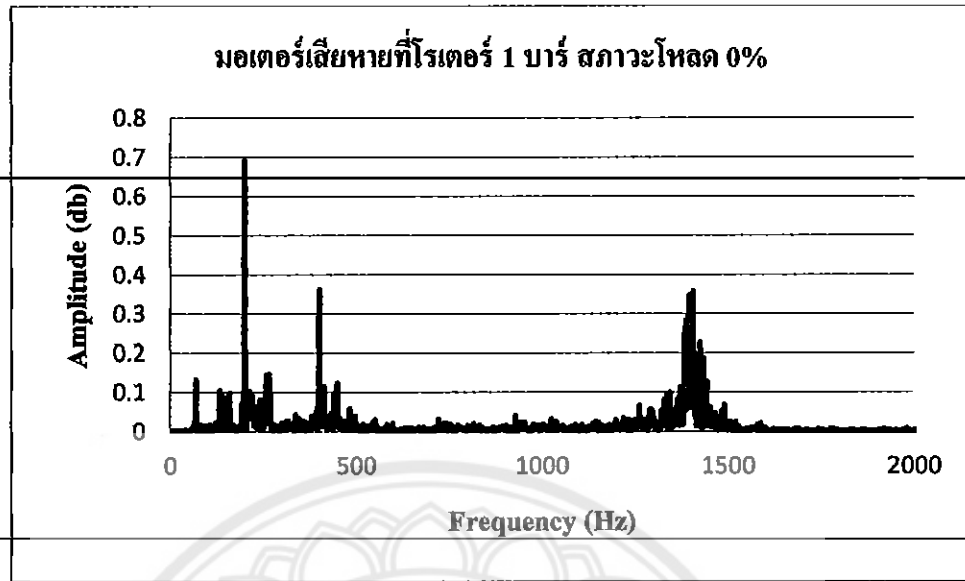
จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.57, 0.736, 1.054, 1.272, 1.486 และ 1.661 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 4.15 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์ปกติที่สภาวะโหลดต่างๆ [4.15]

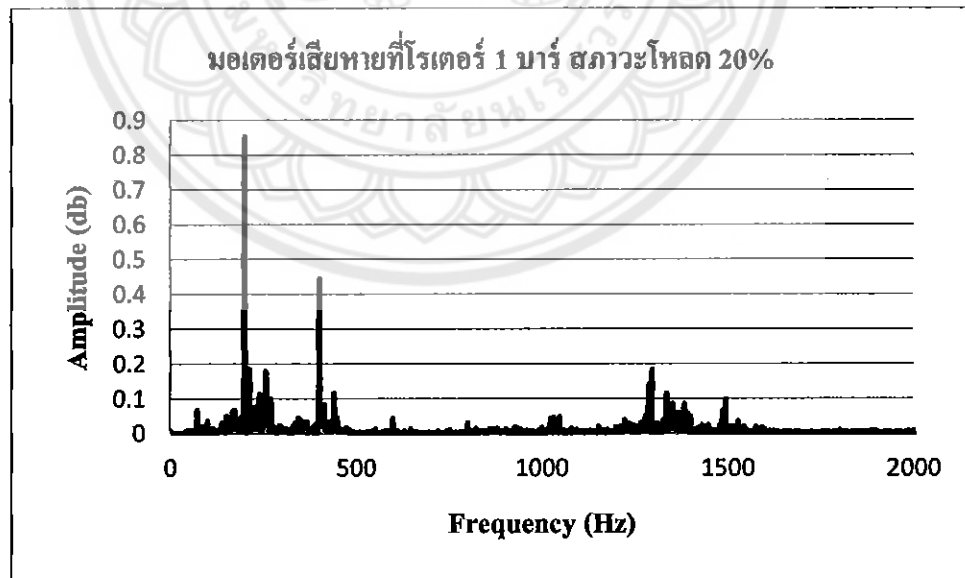
จากกราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์ปกติ การเพิ่มขึ้นของสภาวะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

#### 4.2.2 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์



รูปที่ 4.16 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์  
ในสถานะโหลด 0% [4.16]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.689

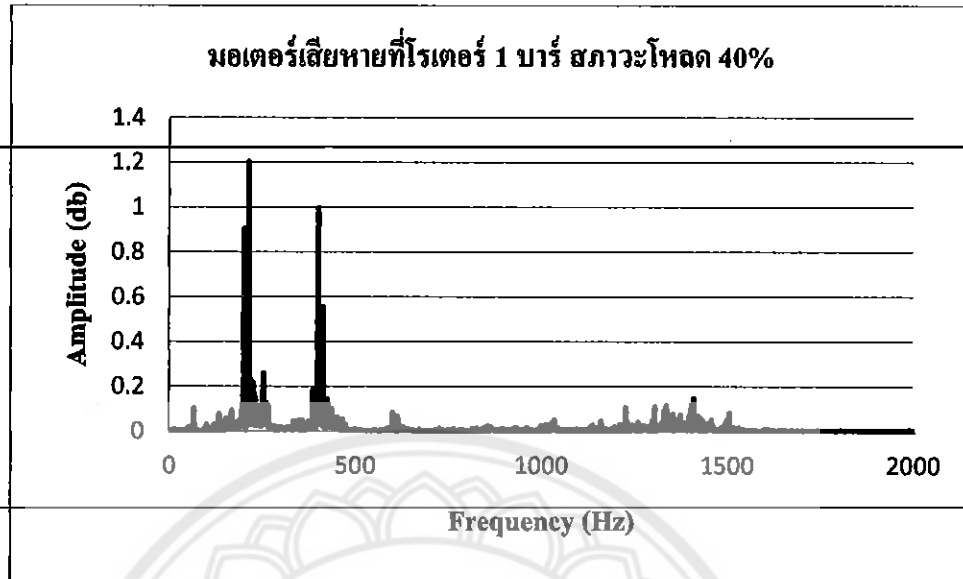


รูปที่ 4.17 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์  
ในสถานะโหลด 20% [4.17]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.853 เพิ่มขึ้น จาก

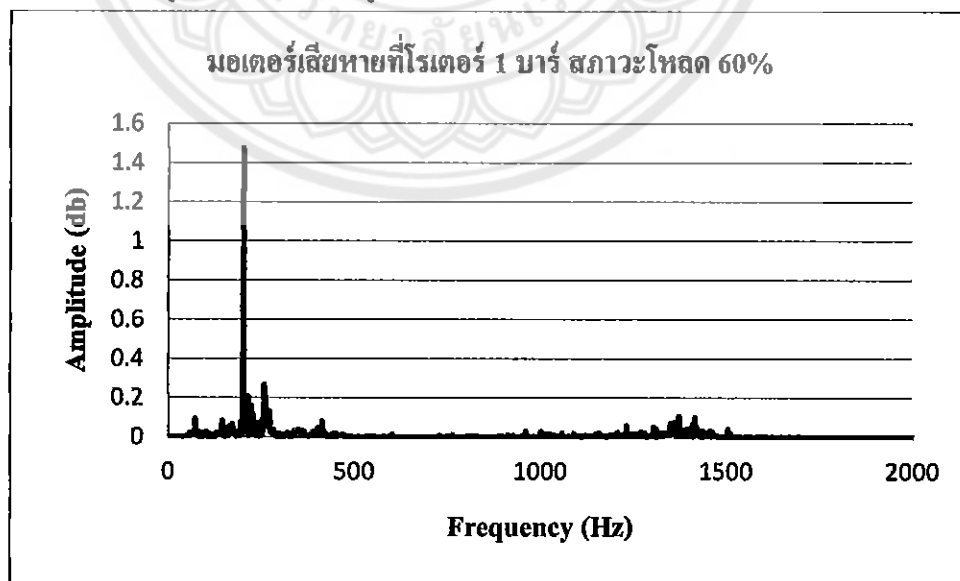


ที่ใส่ภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



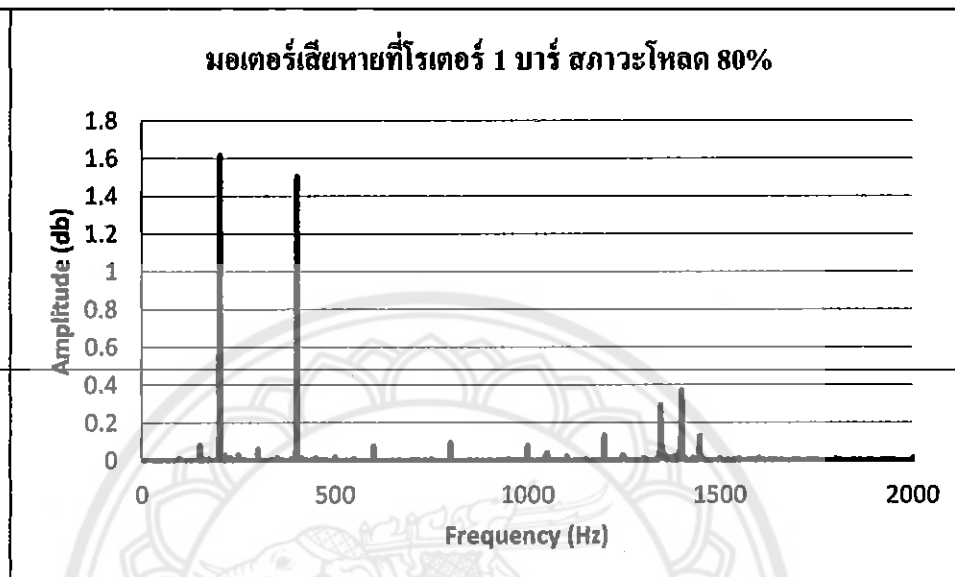
รูปที่ 4.18 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 40% [4.18]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.201 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



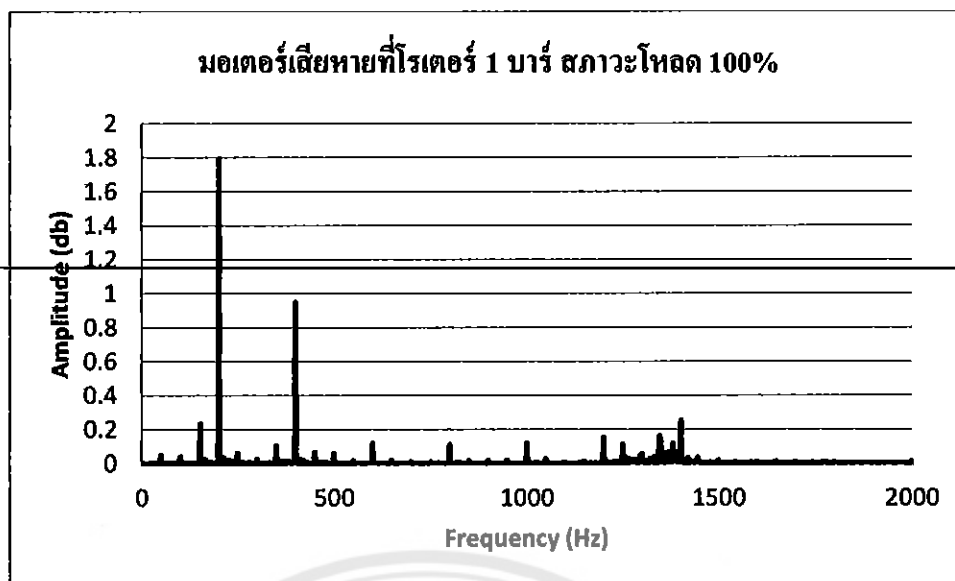
รูปที่ 4.19 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 60% [4.19]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้ววัดภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.471 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.20 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 80% [4.20]

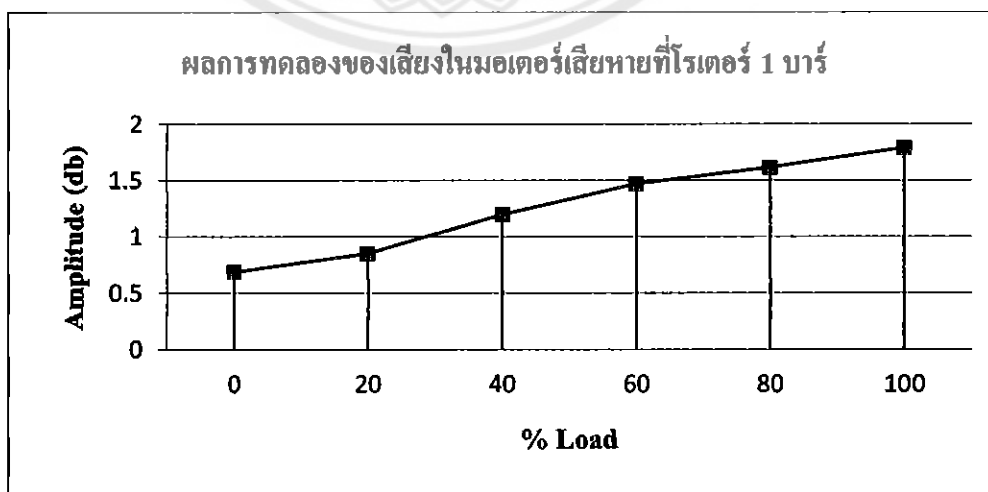
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้ววัดภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.616 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.21 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 100% [4.21]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.616 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

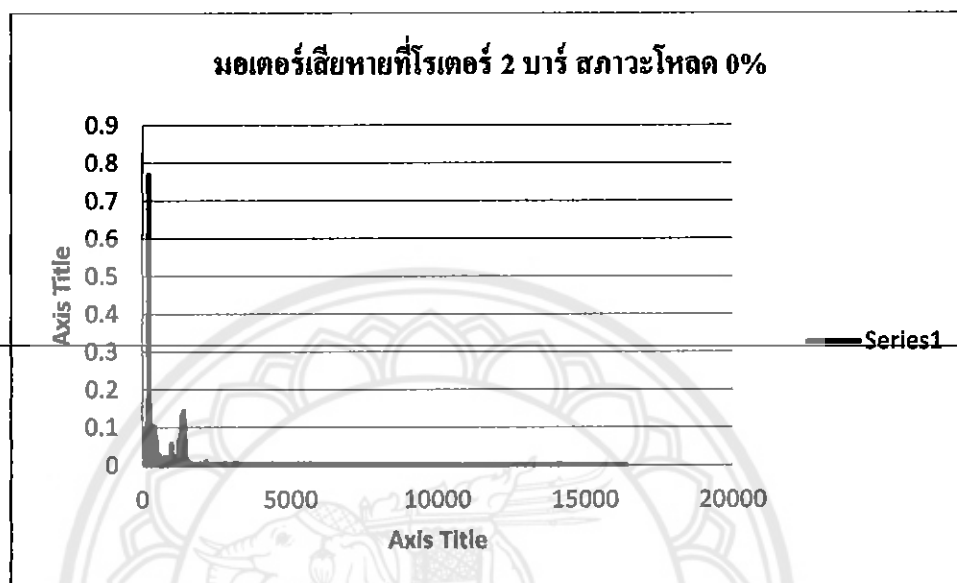
จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.689, 0.853, 1.201, 1.471, 1.616 และ 1.791 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 4.22 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ ในสถานะโหลดต่างๆ [4.22]

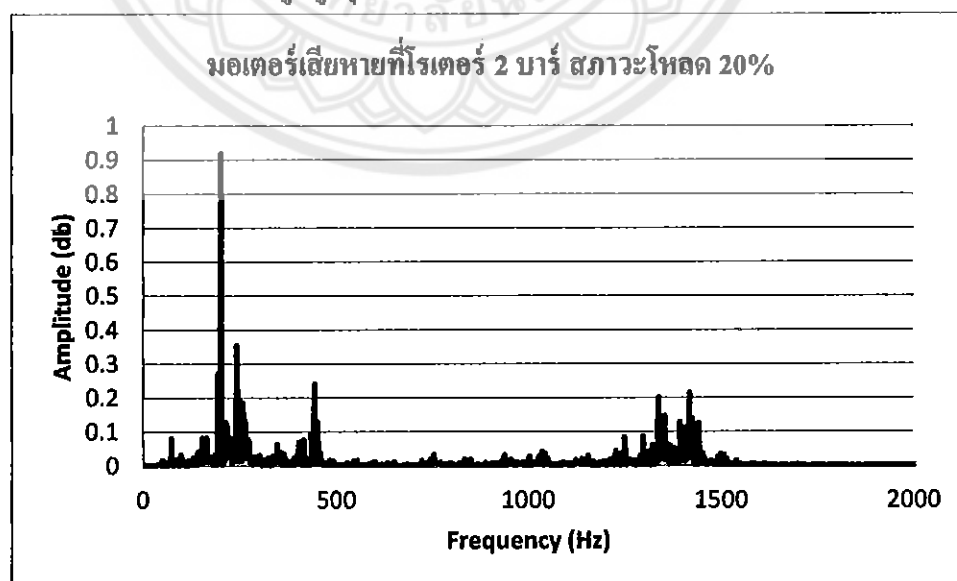
จากกราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

#### 4.2.3 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์



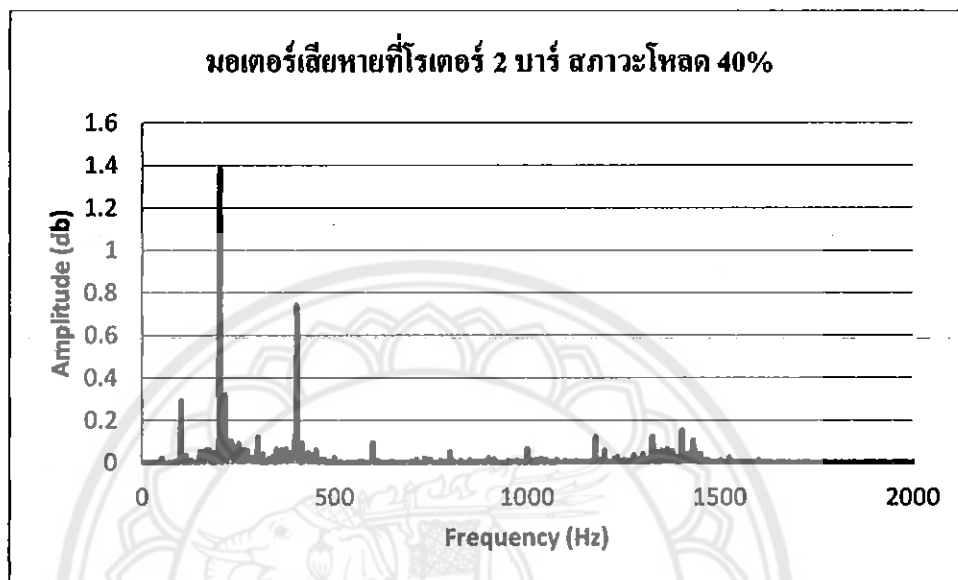
รูปที่ 4.23 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์  
ในสถานะ โหลด 0% [4.23]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.77



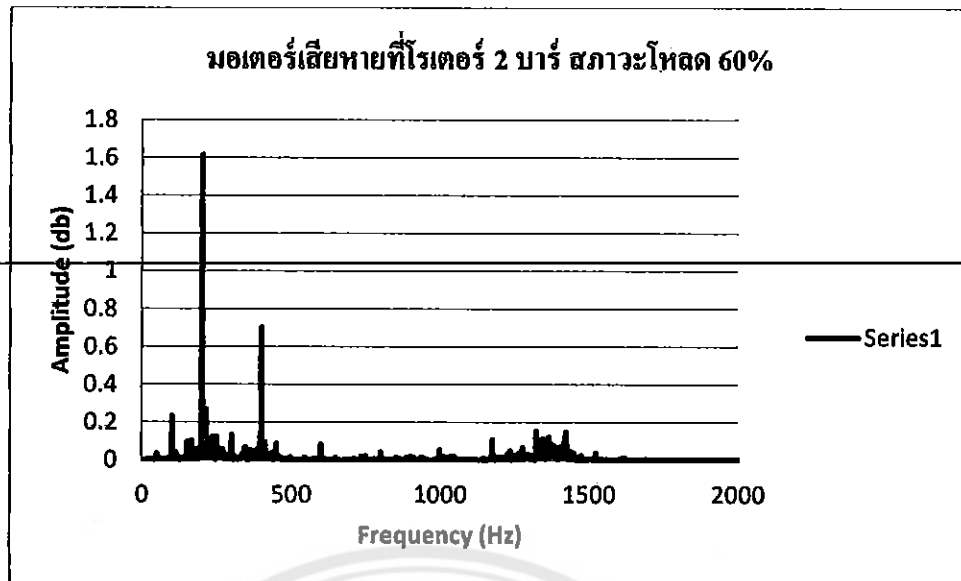
รูปที่ 4.24 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์  
ในสถานะ โหลด 20% [4.24]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.921 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



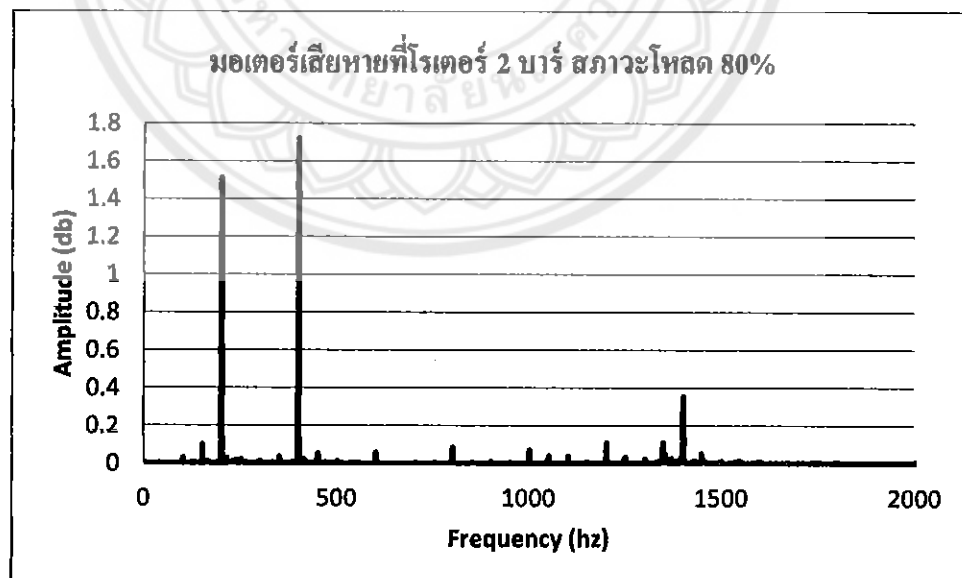
รูปที่ 4.25 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 40% [4.25]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.384 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



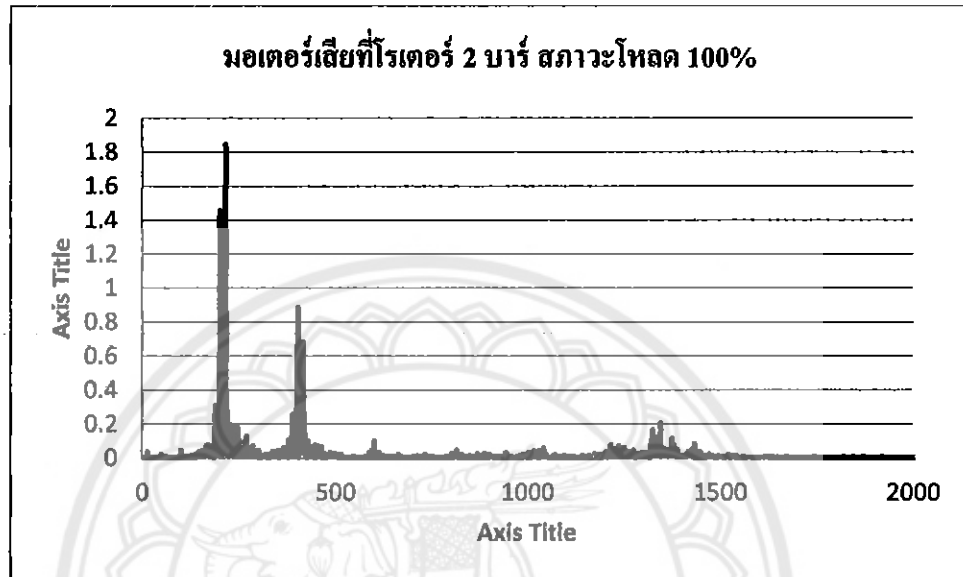
รูปที่ 4.26 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์  
ในสภาวะโหลด 60% [4.26]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วบันทึกภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.599 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.27 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์  
ในสภาวะโหลด 80% [4.27]

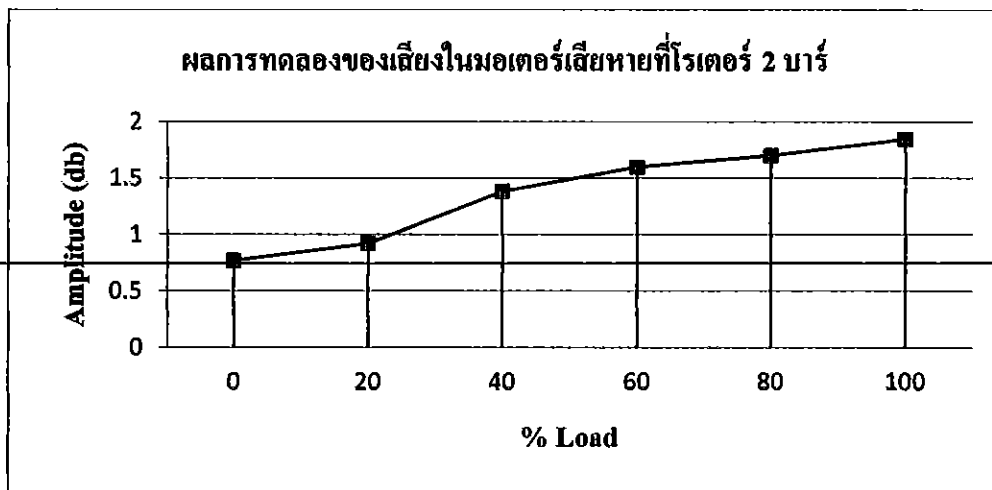
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.702 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.28 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 2 บาร์ ในสถานะ โหลด 100% [4.28]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.702 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

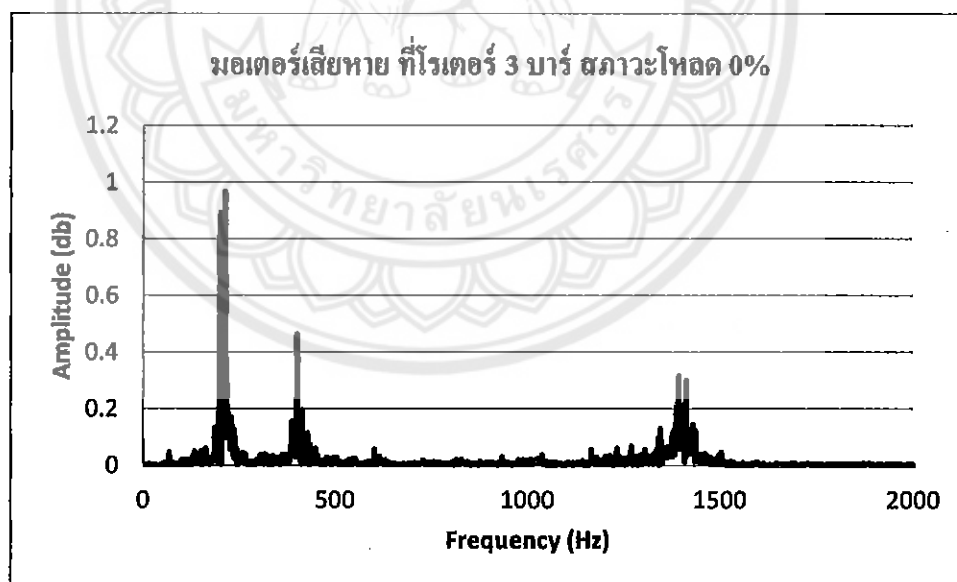
จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 2 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.77, 0.921, 1.384, 1.599, 1.702 และ 1.846 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 4.29 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์  
ในสถานะโหลดต่างๆ [4.29]

จากกราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

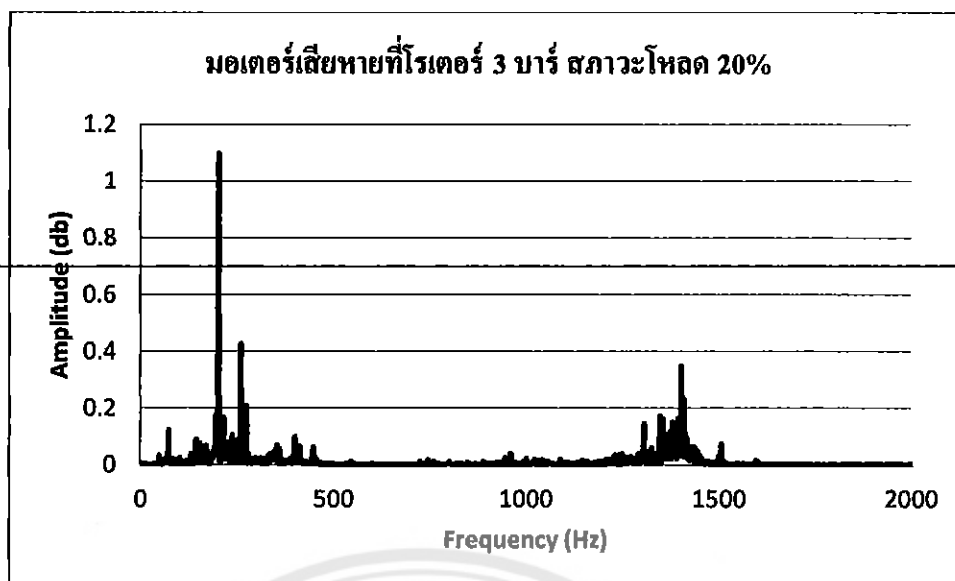
#### 4.2.4 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์



รูปที่ 4.30 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
ในสถานะโหลด 0% [4.30]

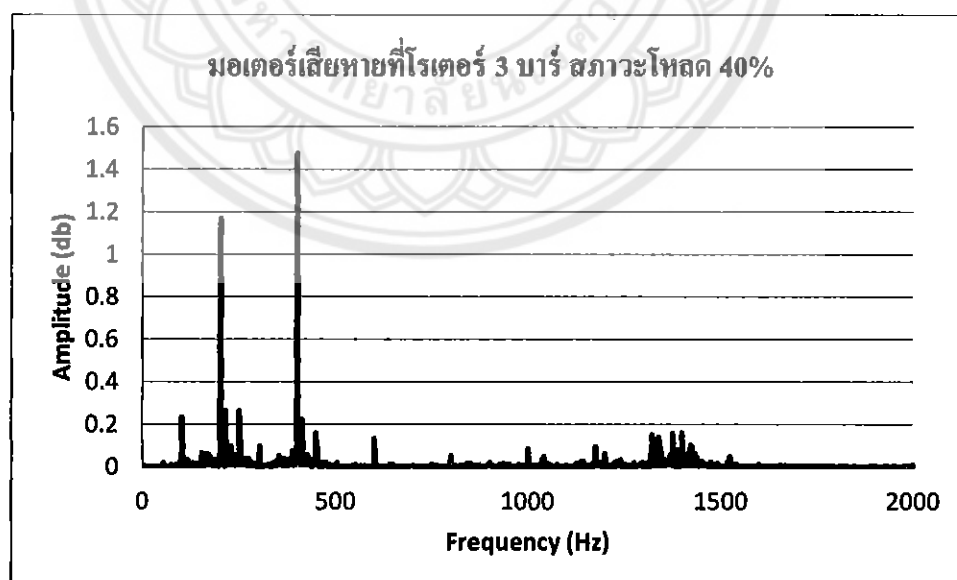
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.964





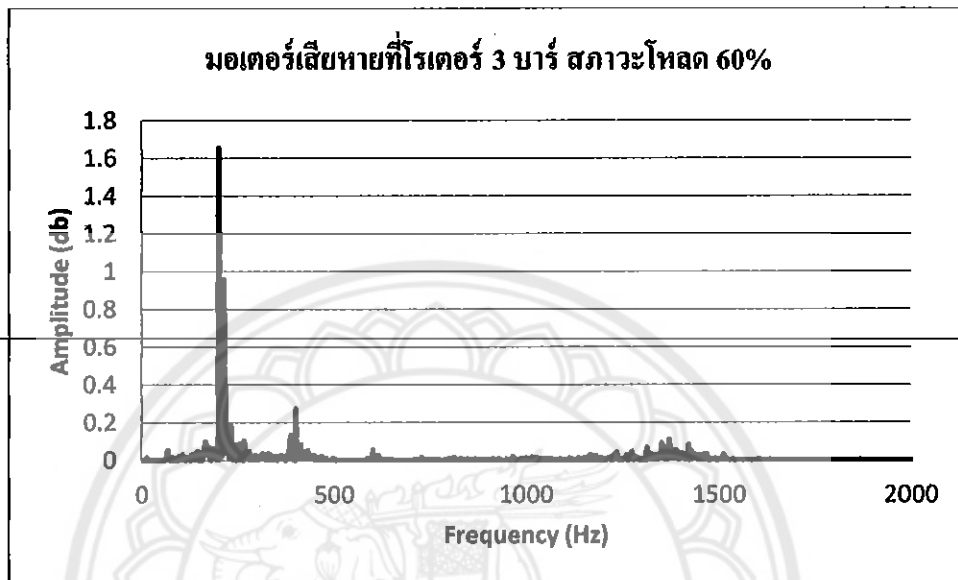
รูปที่ 4.31 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
ในสภาวะโหลด 20% [4.31]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.095 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



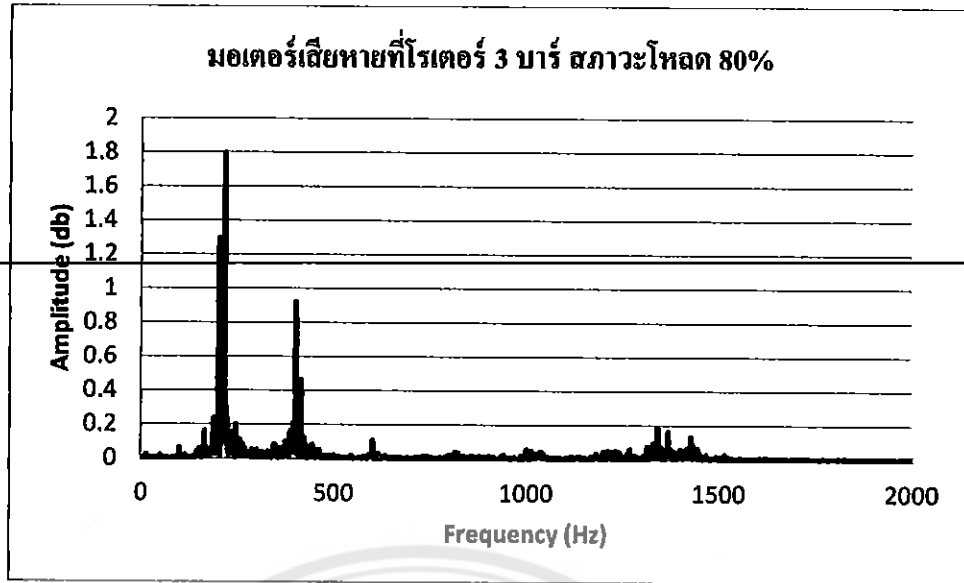
รูปที่ 4.32 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
ในสภาวะโหลด 40% [4.32]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.466 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



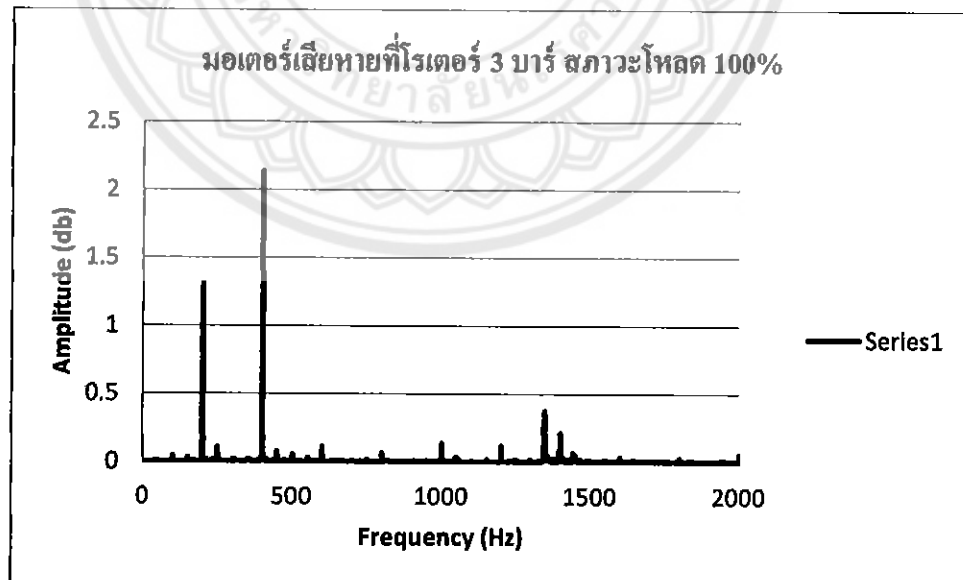
รูปที่ 4.33 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 60% [4.33]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.653 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.34 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 80% [4.34]

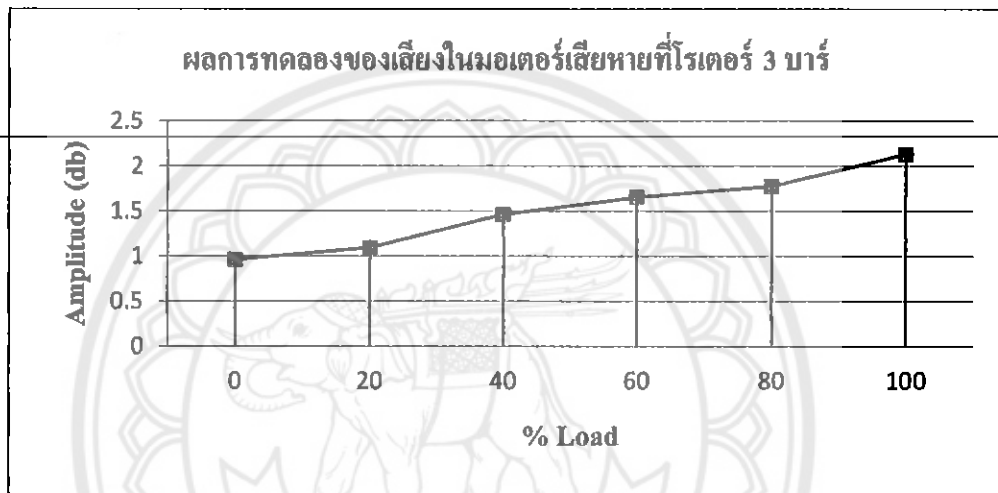
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.778 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.35 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 100% [4.35]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 2.13 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

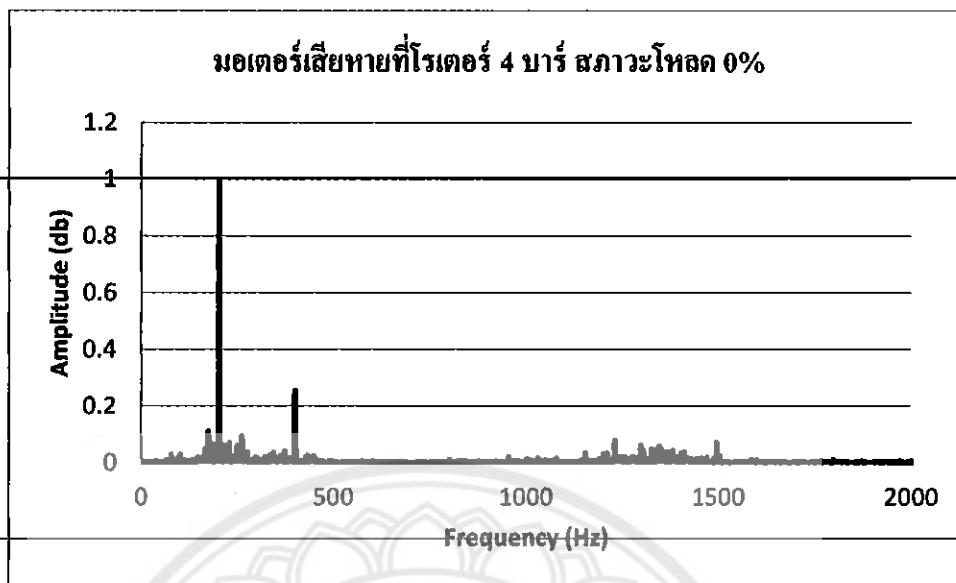
จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.77, 0.921, 1.384, 1.599, 1.702 และ 1.846 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 4.36 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 3 บาร์  
สถานะ โหลดต่างๆ [4.36]

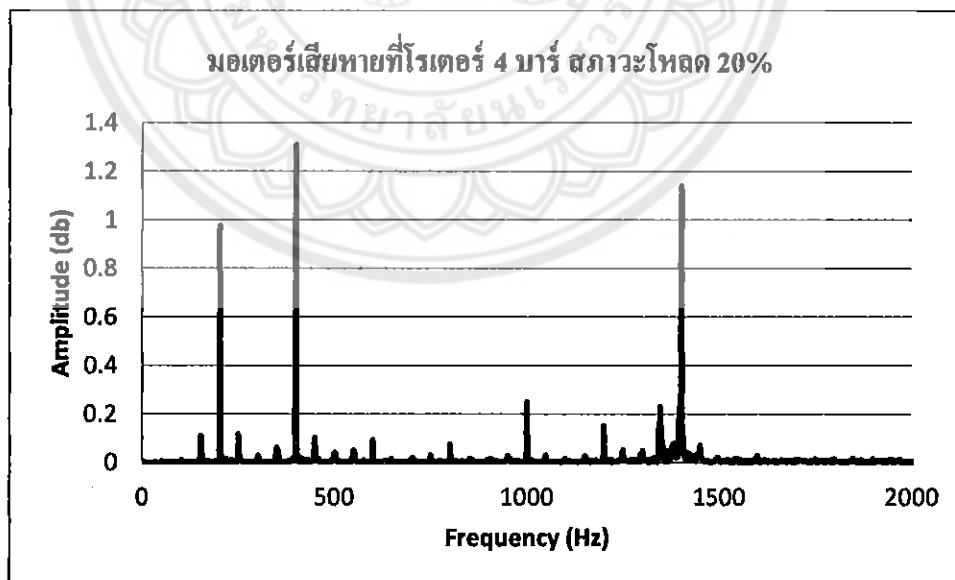
จากกราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

#### 4.2.5 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์



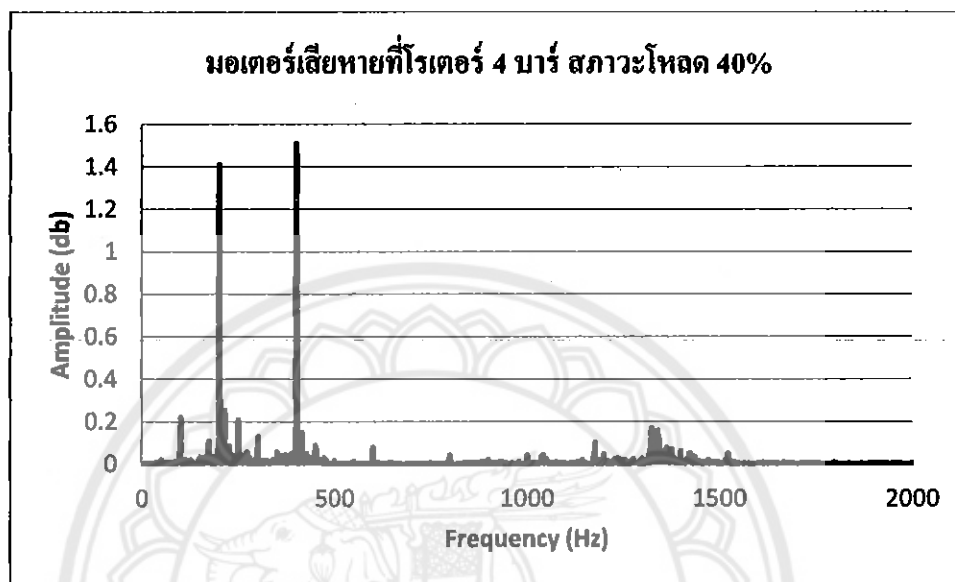
รูปที่ 4.37 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 0% [4.37]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขั้วบาระทางกลที่ 0 เอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.991



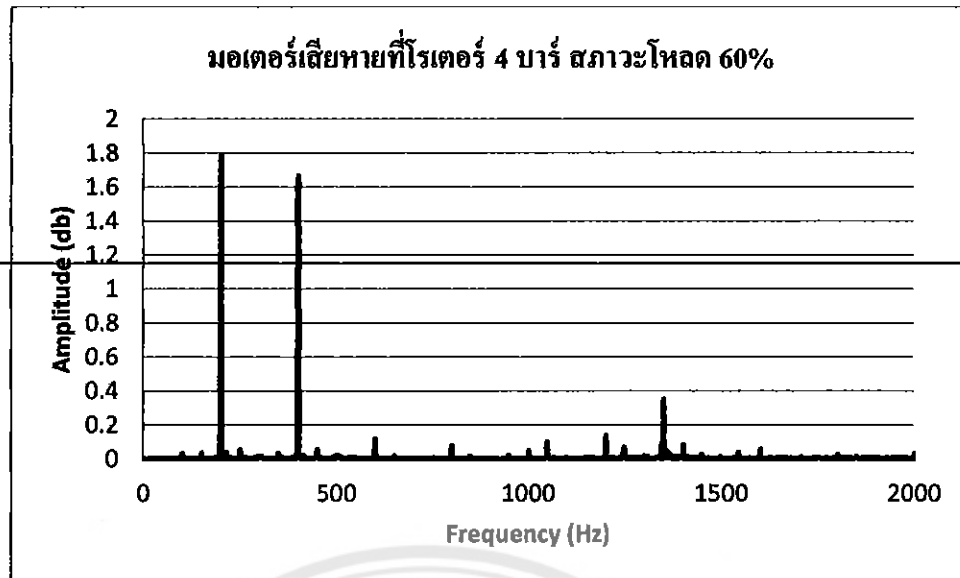
รูปที่ 4.38 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 20% [4.38]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.296 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



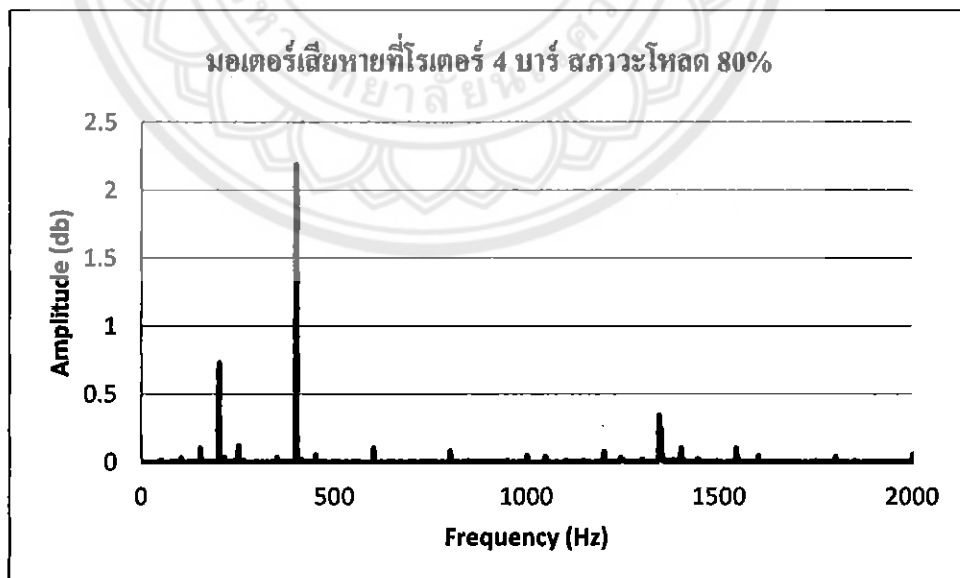
รูปที่ 4.39 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 40% [4.39]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.499 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



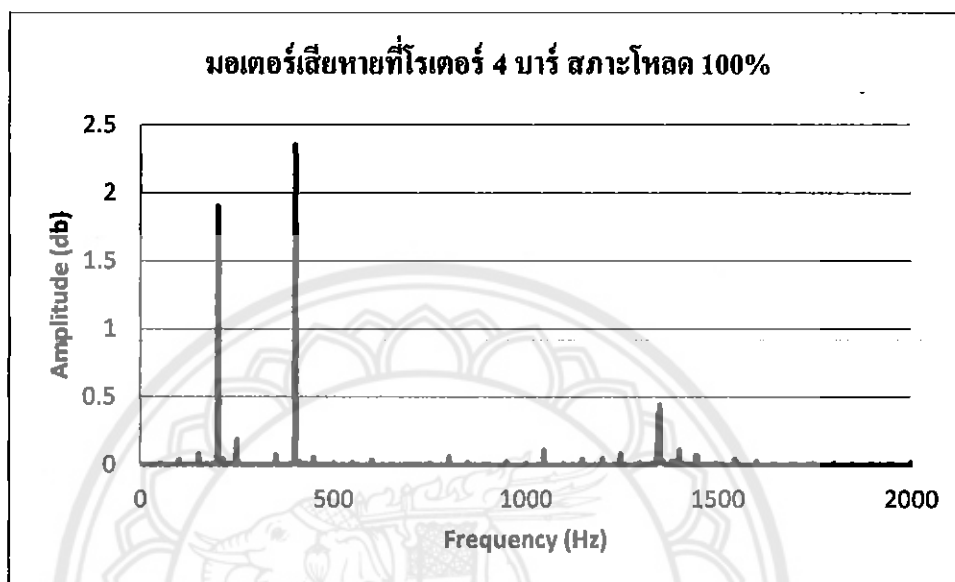
รูปที่ 4.40 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 60% [4.40]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.773 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.41 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 80% [4.41]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 2.175 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

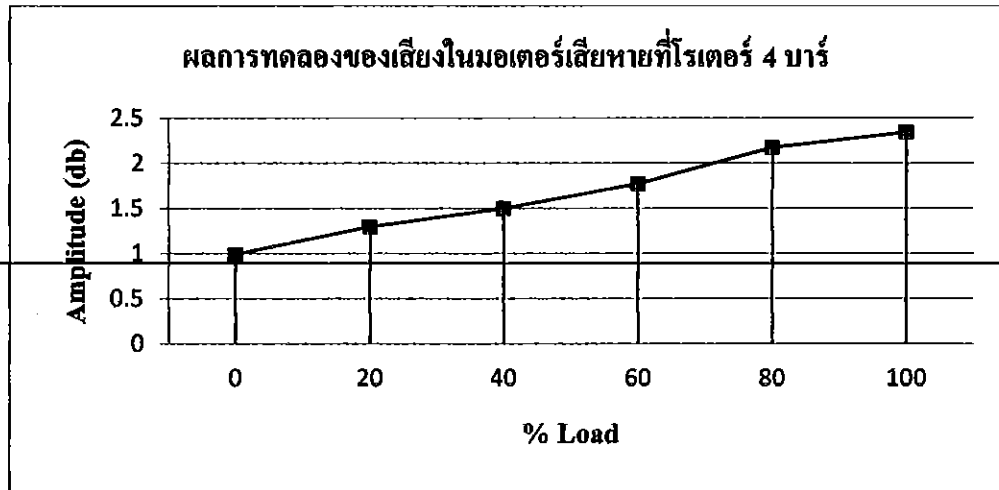


รูปที่ 4.42 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 100% [4.42]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 2.346 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ ในสภาวะ โหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.991, 1.296, 1.499, 1.773, 2.175 และ 2.346 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้

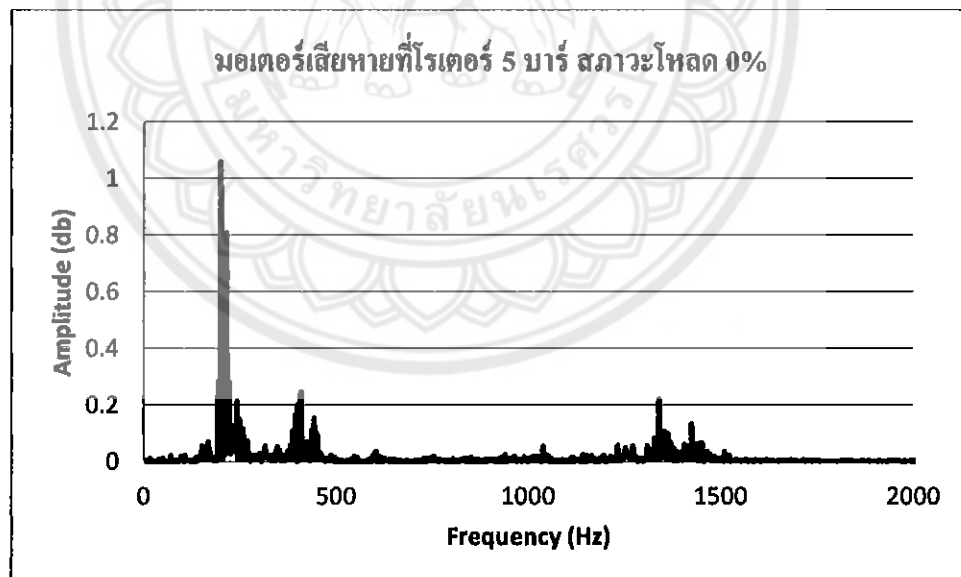




รูปที่ 4.43 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
ในสถานะโหลดต่างๆ [4.43]

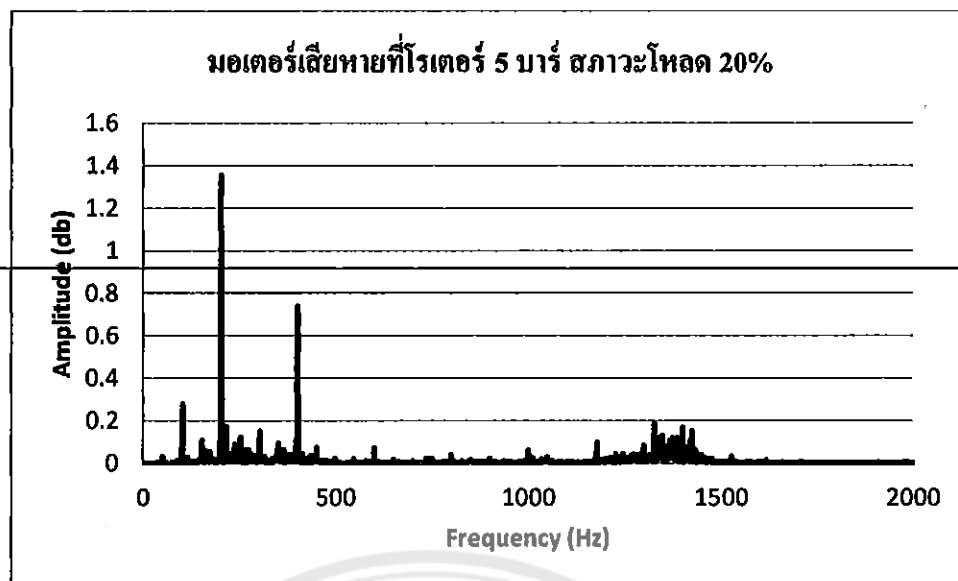
จากกราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

#### 4.2.6 ผลการทดลองของเสียง ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์



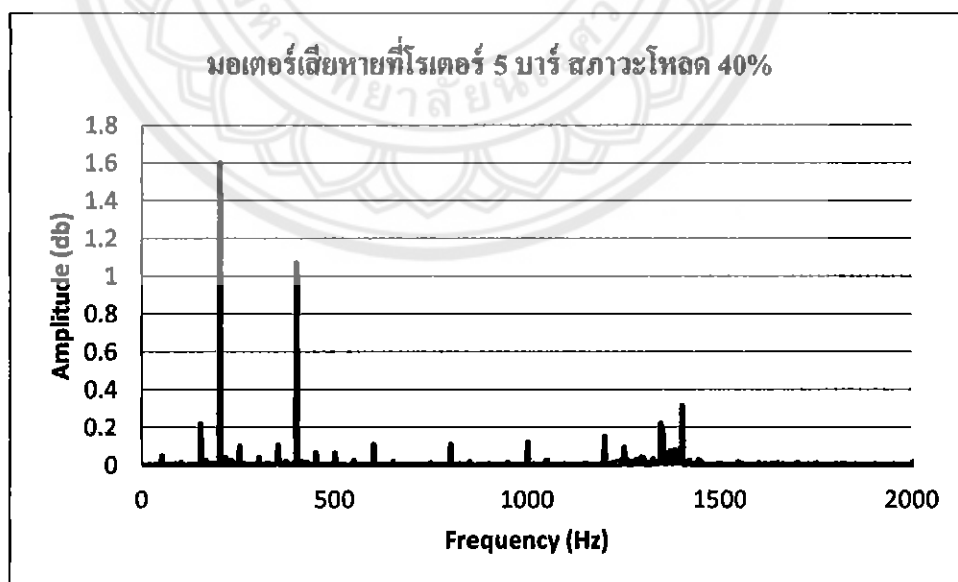
รูปที่ 4.44 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์  
ในสถานะโหลด 0% [4.44]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.047



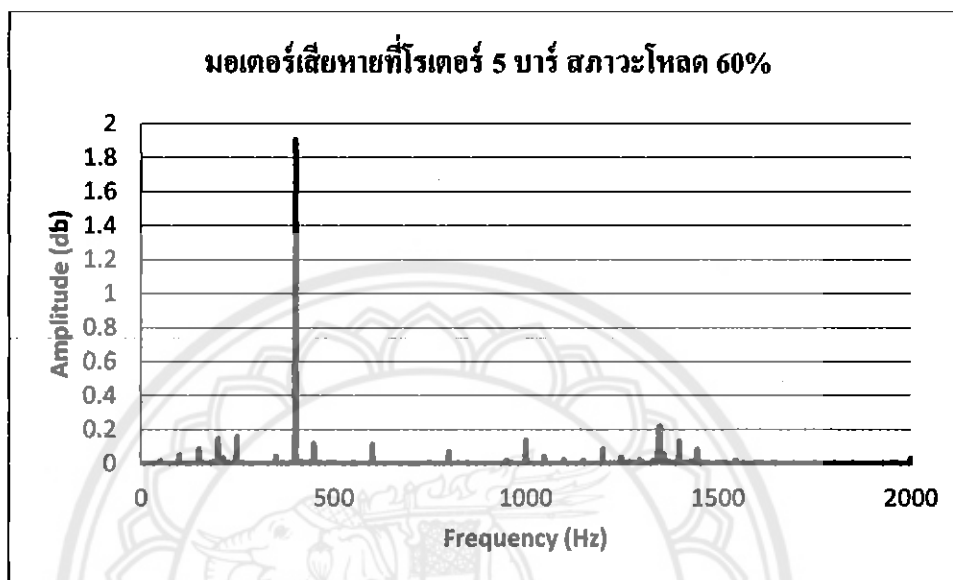
รูปที่ 4.45 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์  
ในสถานะ โหลด 20% [4.45]

เมื่อจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.353 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



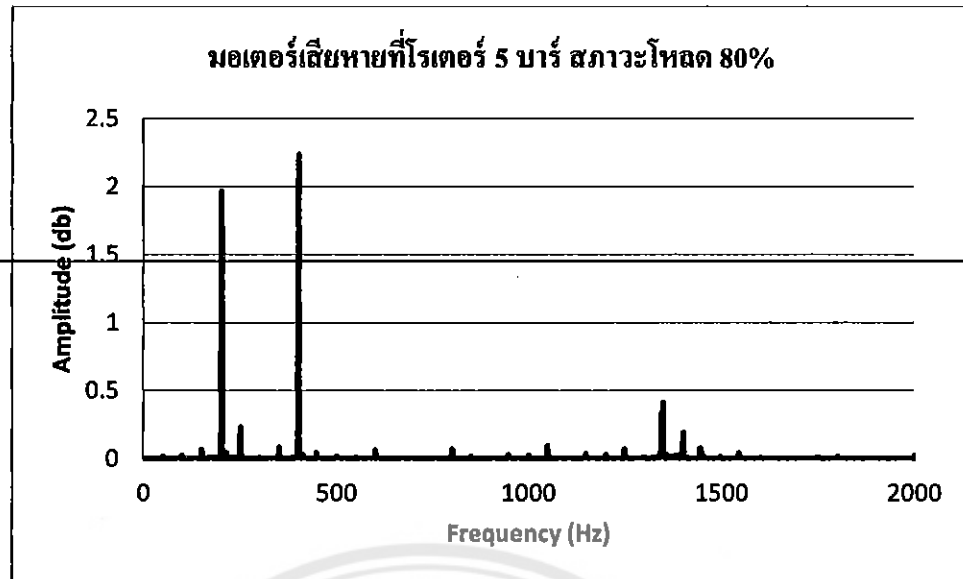
รูปที่ 4.46 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์  
ในสถานะ โหลด 40% [4.46]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.593 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



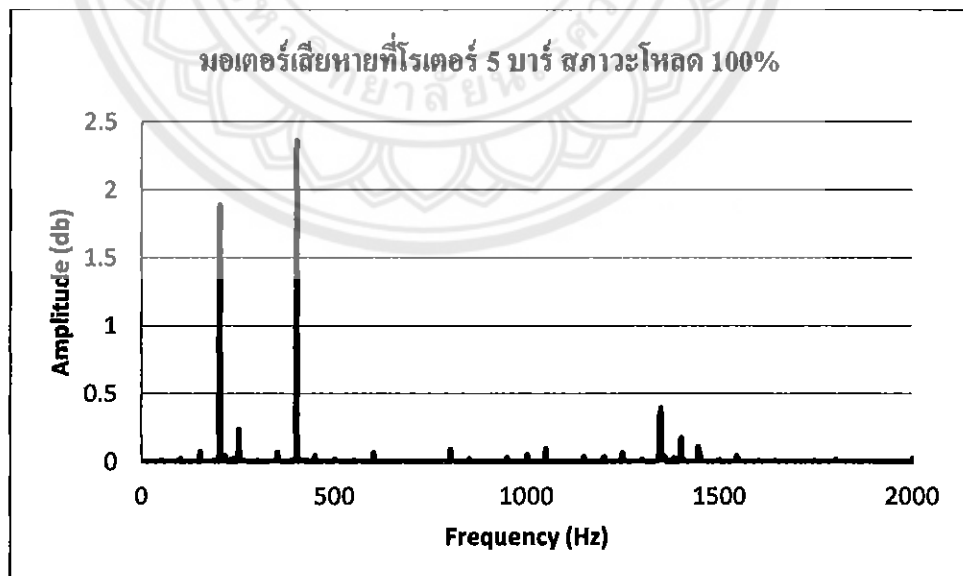
รูปที่ 4.47 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 60% [4.47]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.899 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.48 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอรืเสียหายที่โรเตอรื 5 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 80% [4.48]

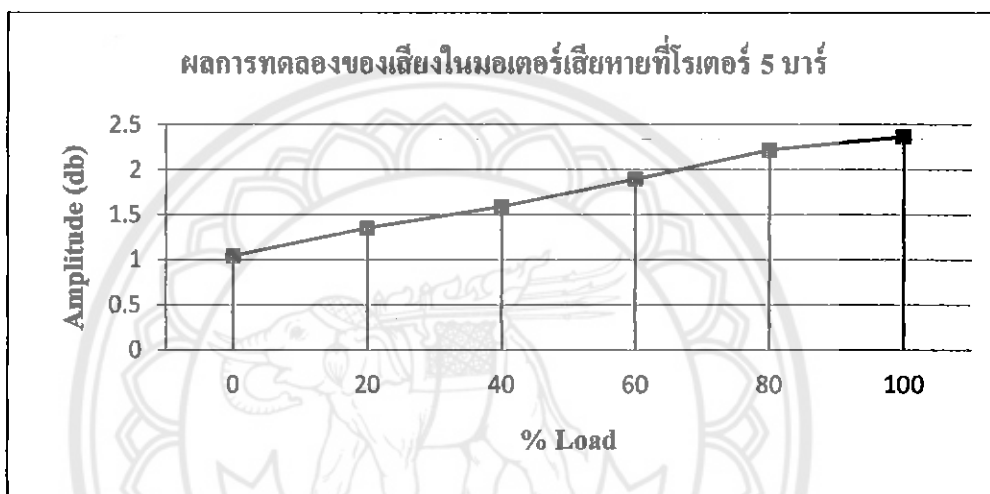
เมื่อย่างแรงค้ไฟฟ้าให้กั้มอเตอรืเสียหายที่โรเตอรื 5 บาร์ 220 V แล้วจั้บการะทางกลที่ 80 เปอร์เซ้นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 2.219 เพิ่มขึ้น จากที่ใ้สภาวะทางกลที่ 60 เปอร์เซ้นต์ เนื่องจากเมื่มีการะทางกลเพิ่มขึ้น ทำใ้มอเตอรืทำงานหนักขึ้น ส่งผลใ้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.49 กราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอรืเสียหายที่โรเตอรื 5 บาร์  
ในสภาวะ โหลด 100% [4.49]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 2.367 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณเสียงของมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 1.047, 1.353, 1.593, 1.899, 2.219 และ 2.367 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



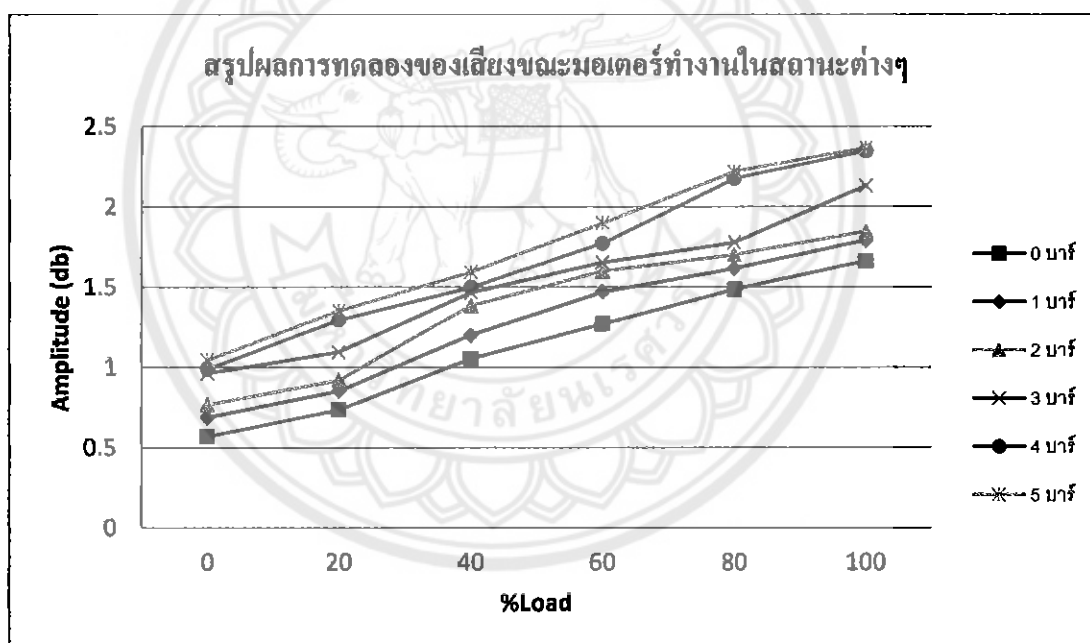
รูปที่ 4.50 กราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 5 บาร์  
สถานะ โหลดต่างๆ [4.50]

จากกราฟผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์เสียงหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

จากผลการทดลองของเสียงในมอเตอร์ขณะทำงานในสถานะที่มอเตอร์ปกติ และเกิดความเสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์ และ 5 บาร์ ตามลำดับ และในสภาวะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลรวมของการทดลองของเสียงขณะมอเตอร์ทำงานในสถานะต่างๆ

	มอเตอร์ปกติ	เสียง 1 บาร์	เสียง 2 บาร์	เสียง 3 บาร์	เสียง 4 บาร์	เสียง 5 บาร์
0%	0.57	0.689	0.77	0.964	0.991	1.047
20%	0.736	0.853	0.921	1.095	1.296	1.353
40%	1.054	1.201	1.384	1.466	1.499	1.593
60%	1.272	1.471	1.599	1.653	1.773	1.899
80%	1.486	1.616	1.702	1.778	2.175	2.219
100%	1.661	1.791	1.846	2.13	2.346	2.367

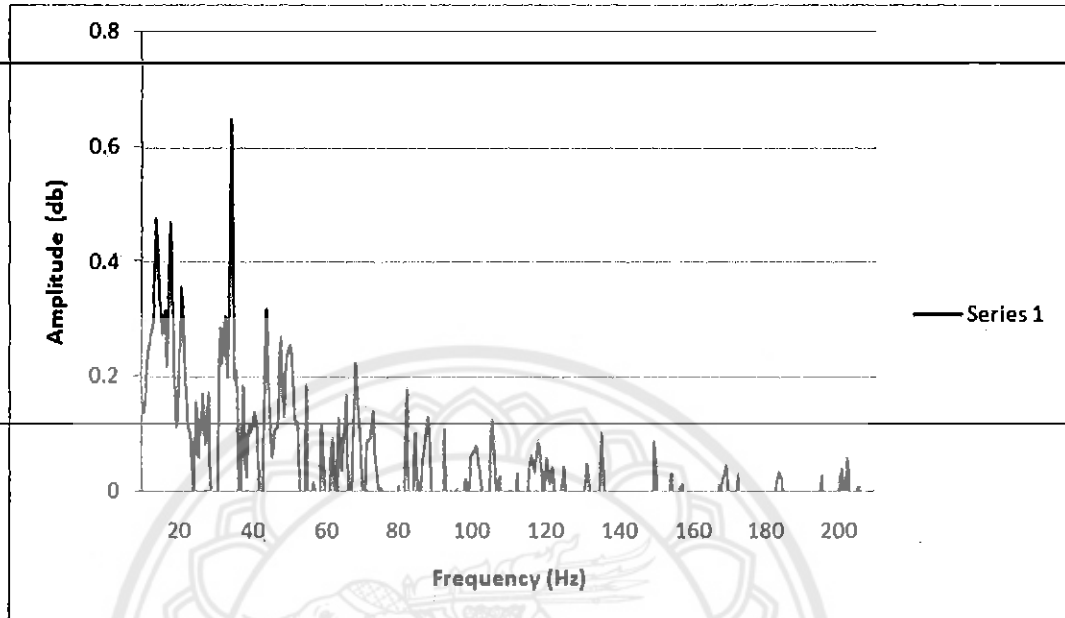


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงผลรวมการทดลองของเสียงในมอเตอร์ขณะทำงาน[4.51]

จากการทดลองการวัดระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ในสภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ต่างๆ จะได้กราฟสเปกตรัม ซึ่งค่า แอมพลิจูด ของกราฟสเปกตรัมที่ได้จะบ่งถึงความรุนแรงของเสียงที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทดสอบถึงความเข้มของเสียง กราฟสเปกตรัมที่ได้มีค่า แอมพลิจูด ของกราฟเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โหลดยิ่งเปอร์เซ็นต์โหลดมีค่ามากค่า แอมพลิจูด ที่ได้ก็มีค่ามากขึ้น และในขณะเดียวกันการเสียหายของมอเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีโหลดเพิ่มมากขึ้น เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น แล้วทำให้ระดับความเข้มของเสียงเพิ่มมากขึ้น

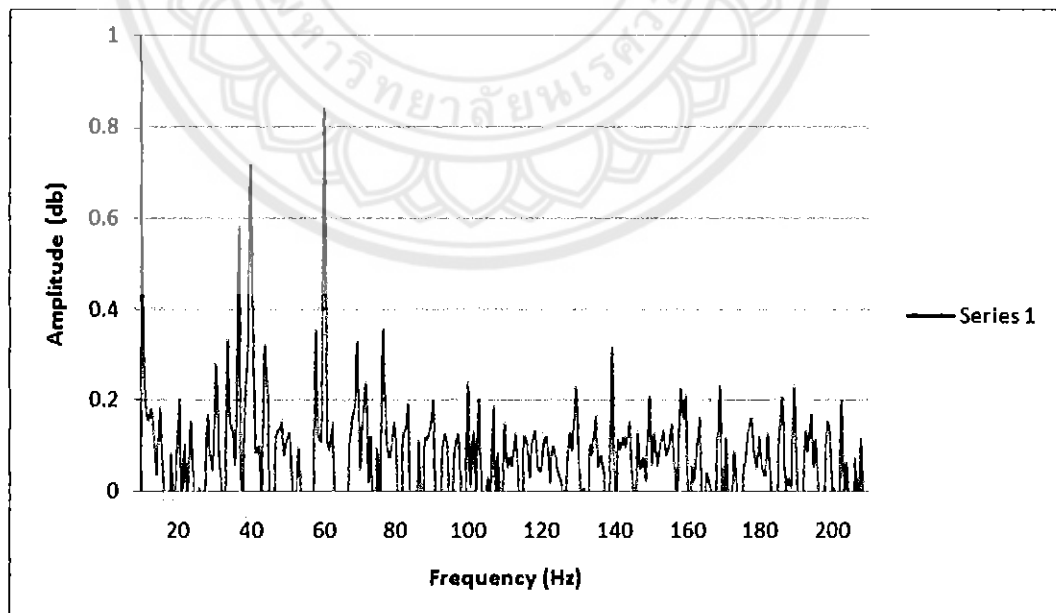
### 4.3 ผลการทดลองที่ 3 การสั่นสะเทือนในขณะมอเตอร์ทำงาน

#### 4.3.1 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์ปกติ



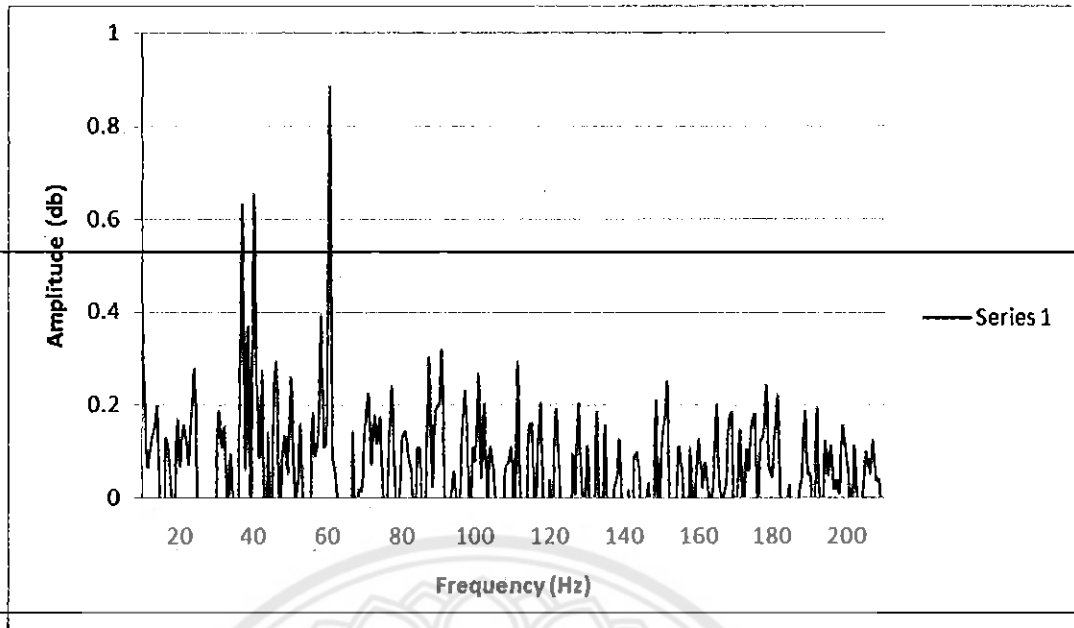
รูปที่ 4.52 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลด 0% [4.52]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.647



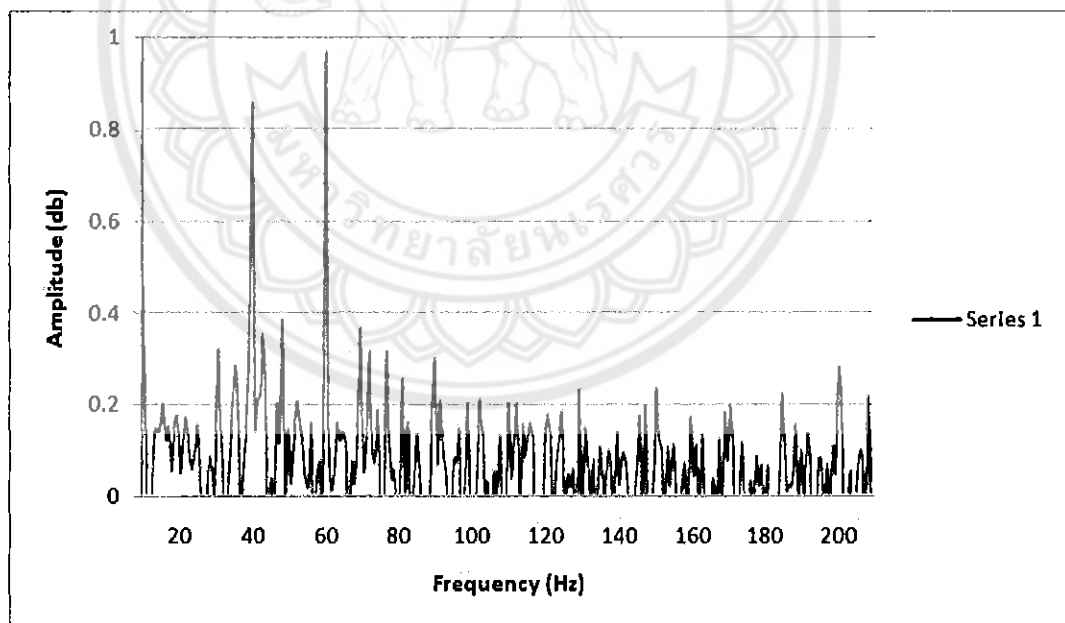
รูปที่ 4.53 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลด 20% [4.53]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.841



รูปที่ 4.54 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลด 40% [4.54]

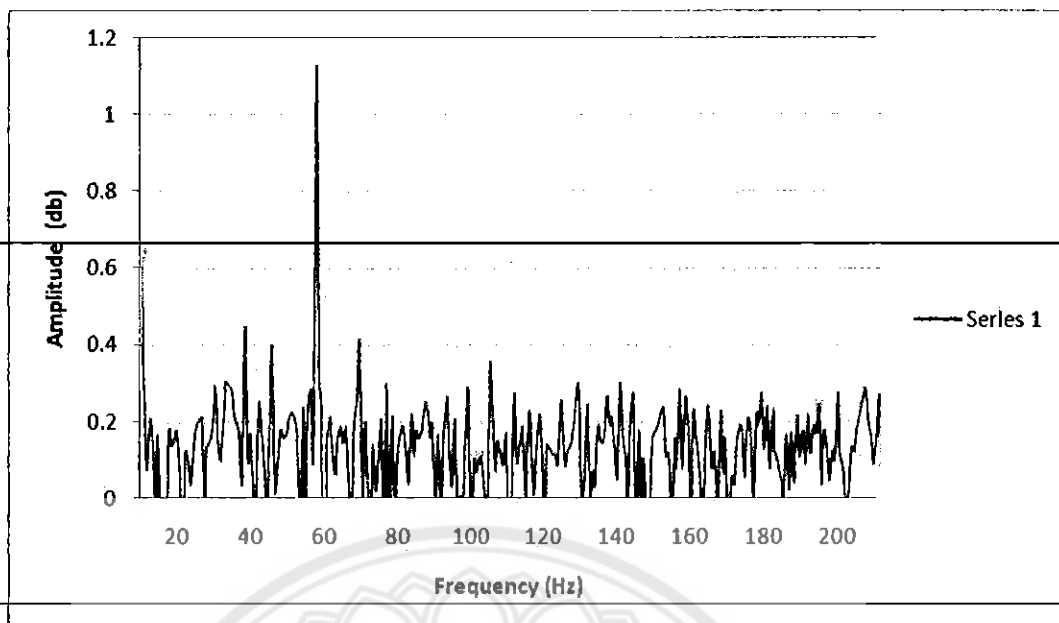
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.895



รูปที่ 4.55 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลด 60% [4.55]

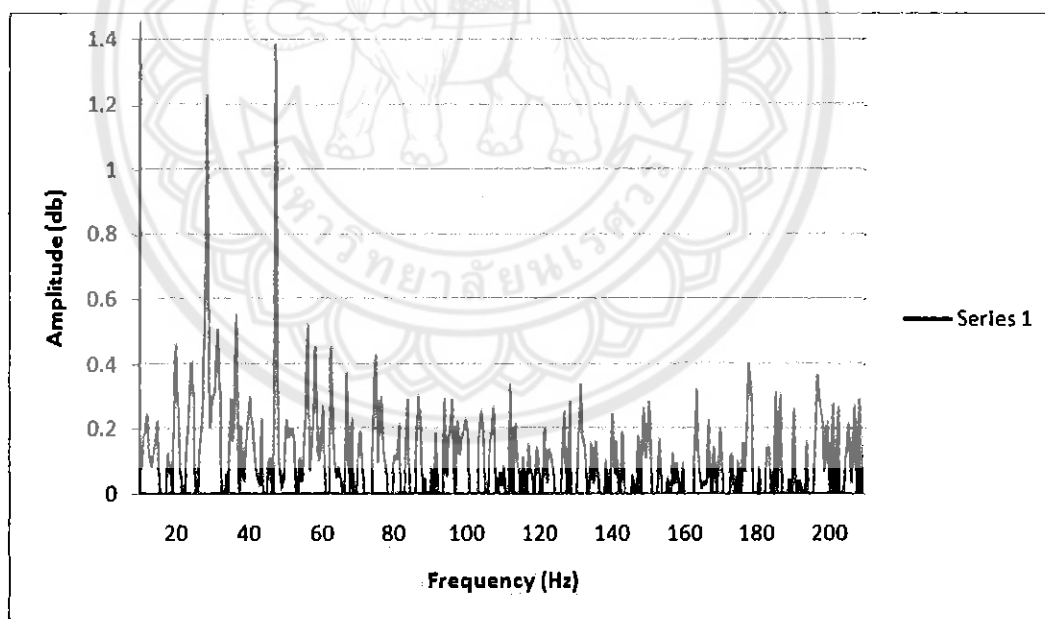
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.989





รูปที่ 4.56 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลด 80% [4.56]

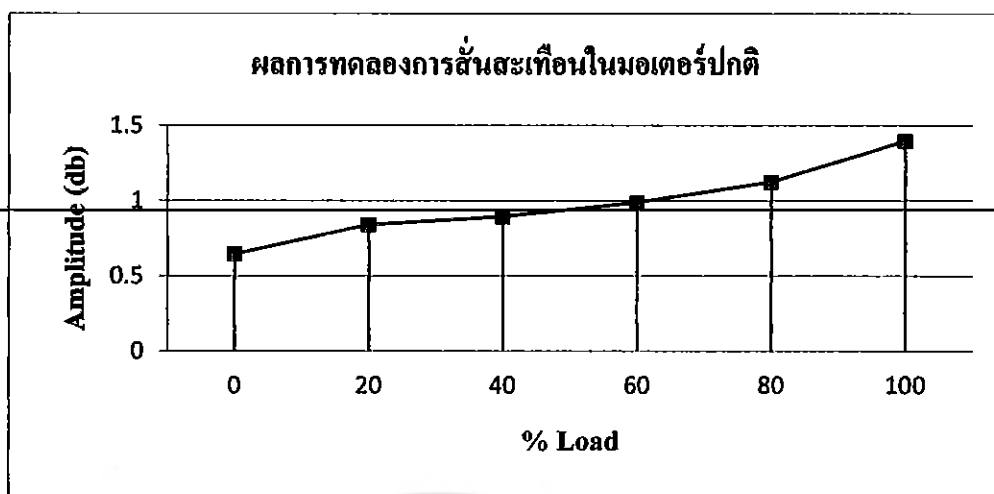
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.125



รูปที่ 4.57 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลด 100% [4.57]

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ปกติ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.398

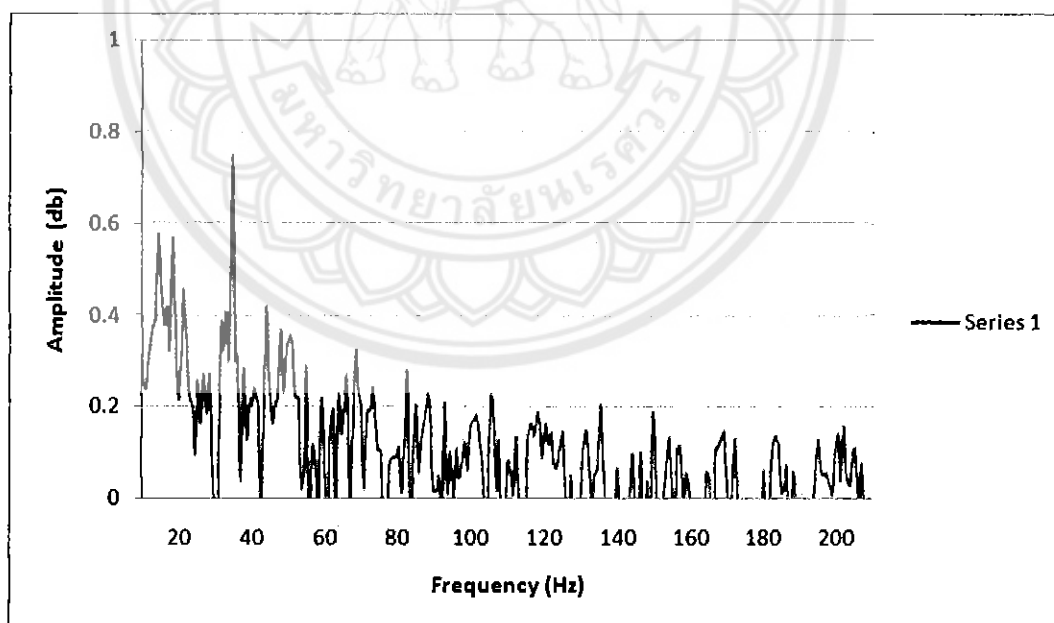
จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ปกติ ในสภาวะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.647, 0.841, 0.895, 0.989, 1.125 และ 1.398 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 4.58 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์ปกติ สภาวะโหลดต่างๆ [4.58]

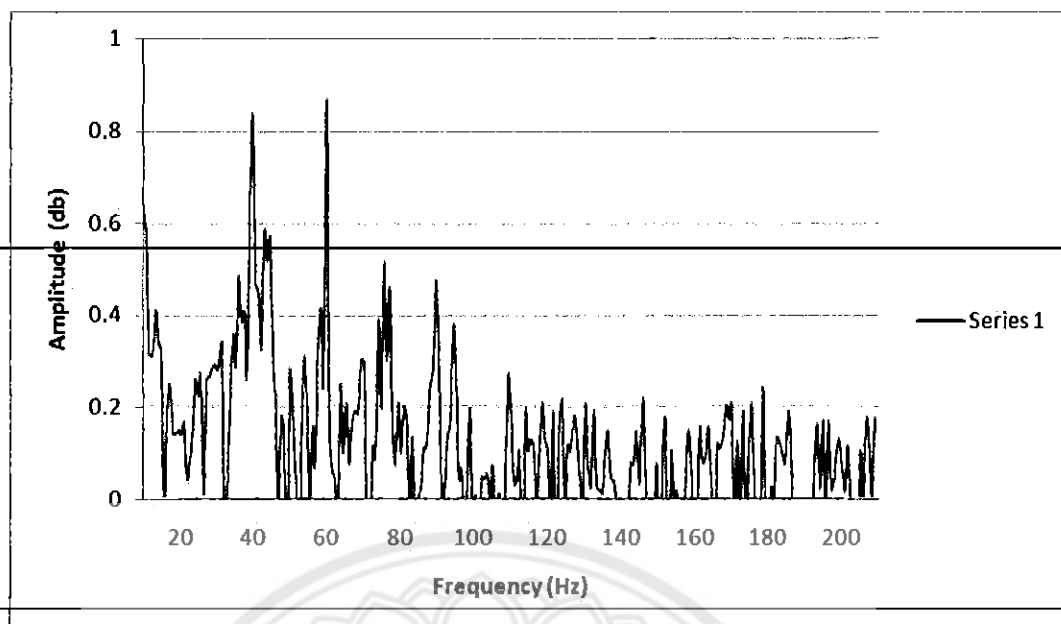
จากกราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์ปกติ การเพิ่มขึ้นของสภาวะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย

#### 4.3.2 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์

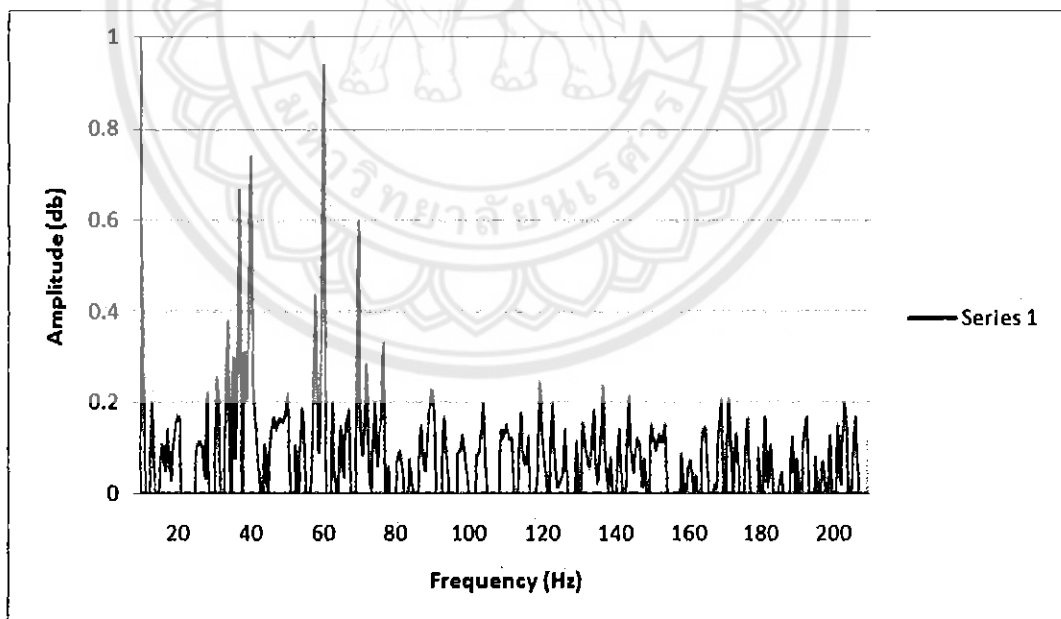


รูปที่ 4.59 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ โหลด 0% [4.59]

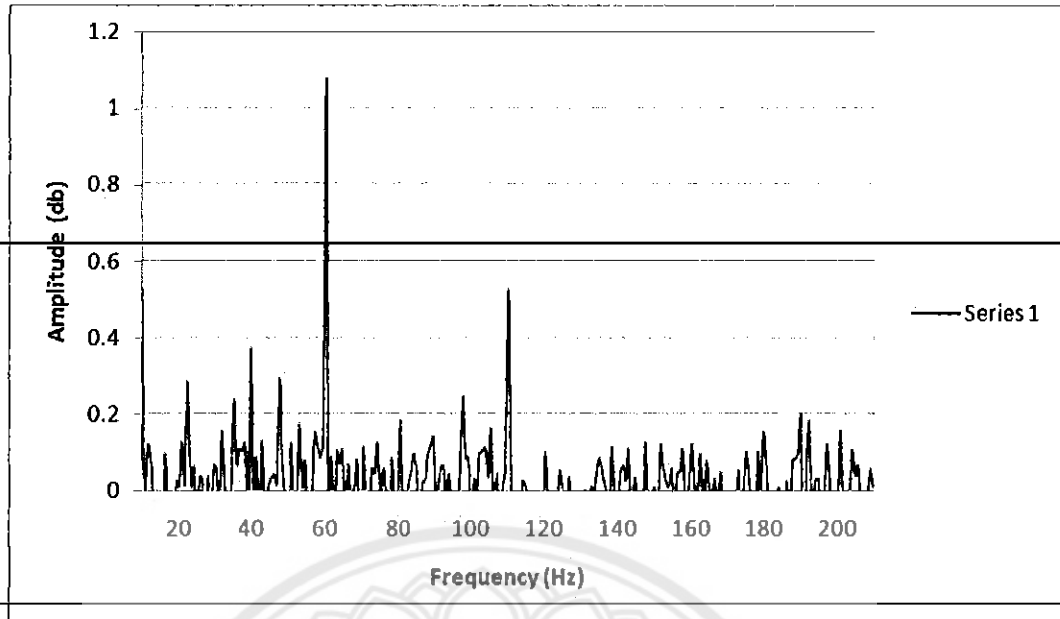
เมื่อย้ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.772



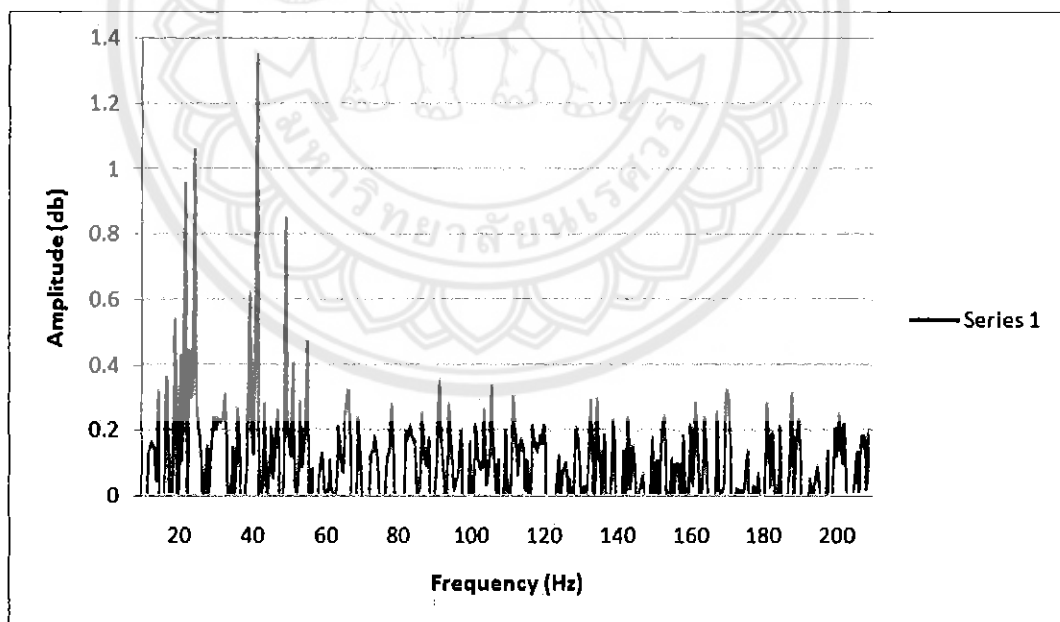
รูปที่ 4.60 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ โหลด 20% [4.60]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่  
20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.877



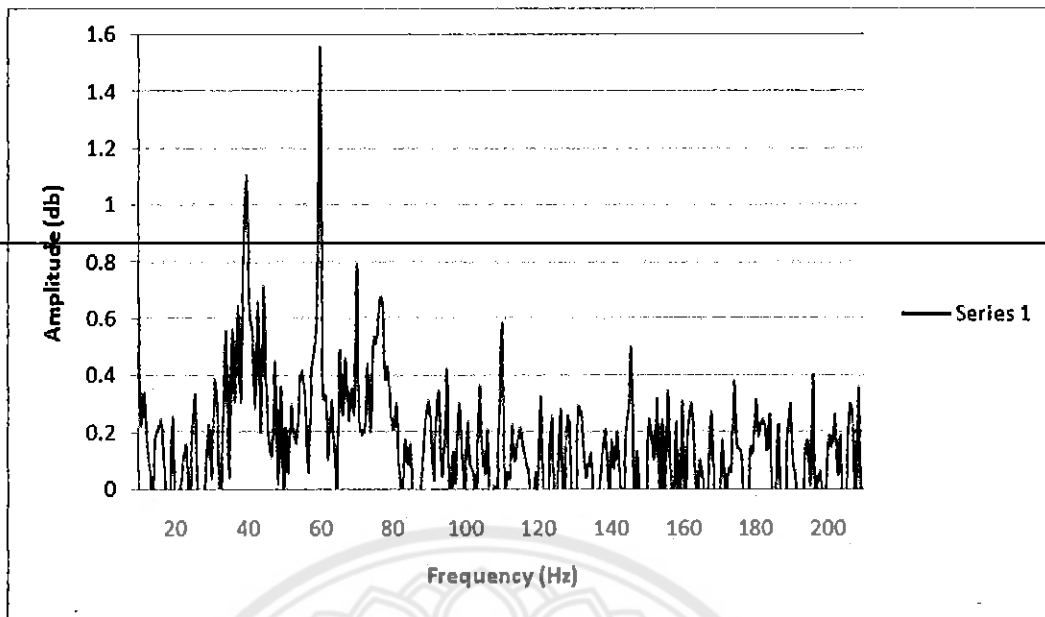
รูปที่ 4.61 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ โหลด 40% [4.61]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่  
40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.942



รูปที่ 4.62 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ โหลด 60% [4.62]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่  
60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.097

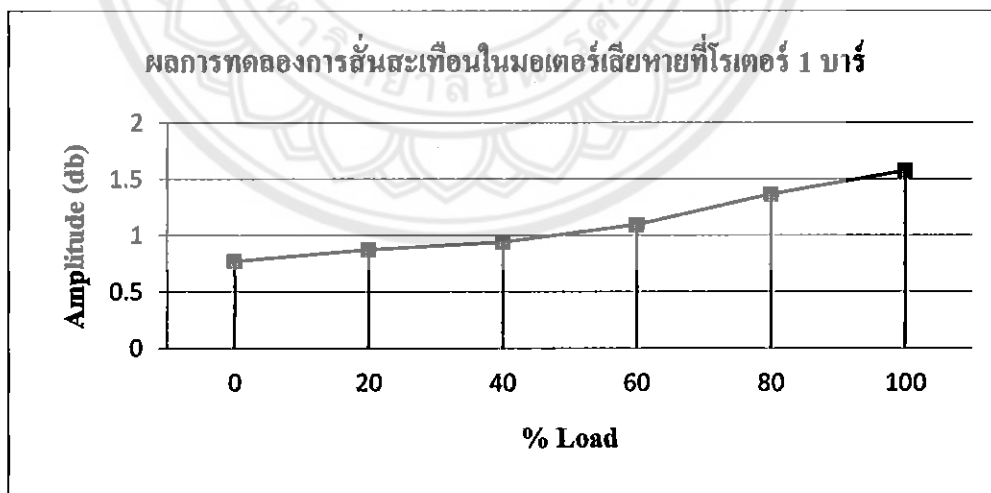


รูปที่ 4.63 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ โหลด 80% [4.63]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่  
80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.368



รูปที่ 4.64 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 1 บาร์ โหลด 100%[4.64]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 1 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.576

จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 1บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%,60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.772, 0.877, 0.942, 1.097, 1.368 และ 1.576 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้

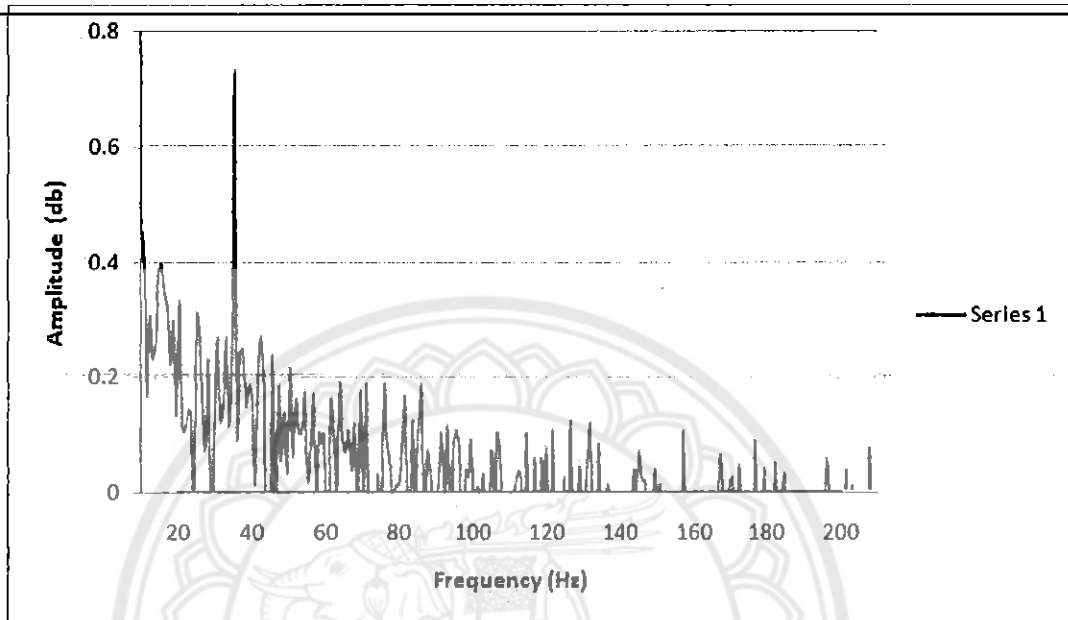


รูปที่ 4.65 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 1 บาร์  
สถานะโหลดต่างๆ [4.65]

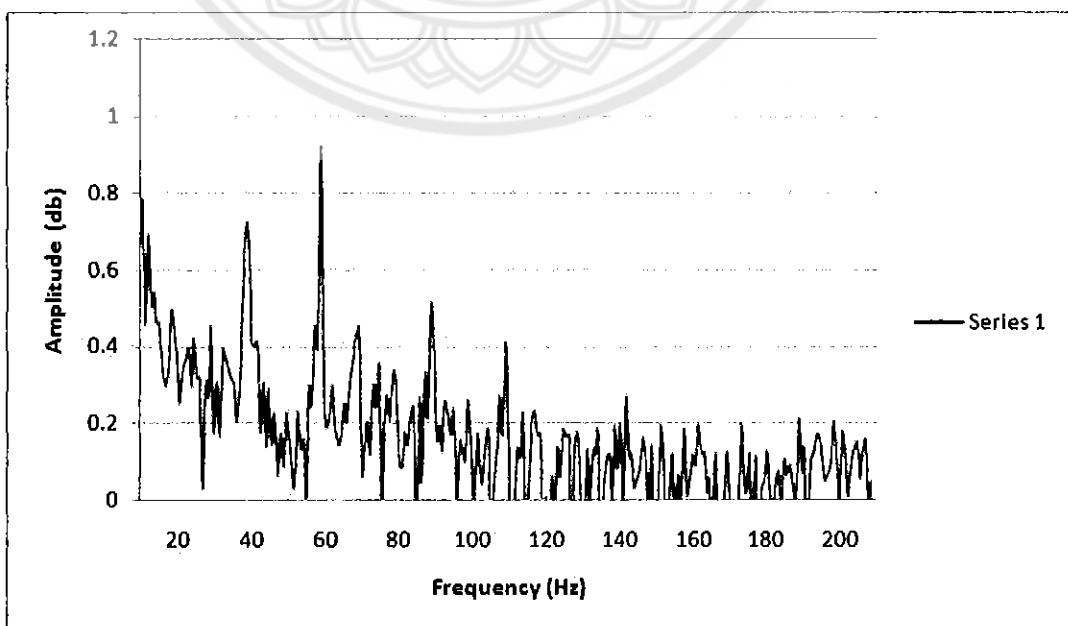
จากกราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียวายที่โรเตอร์ 1 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะ โหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อมอเตอร์ทำงานหนักขึ้น

ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น  
ด้วย

#### 4.3.3 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์

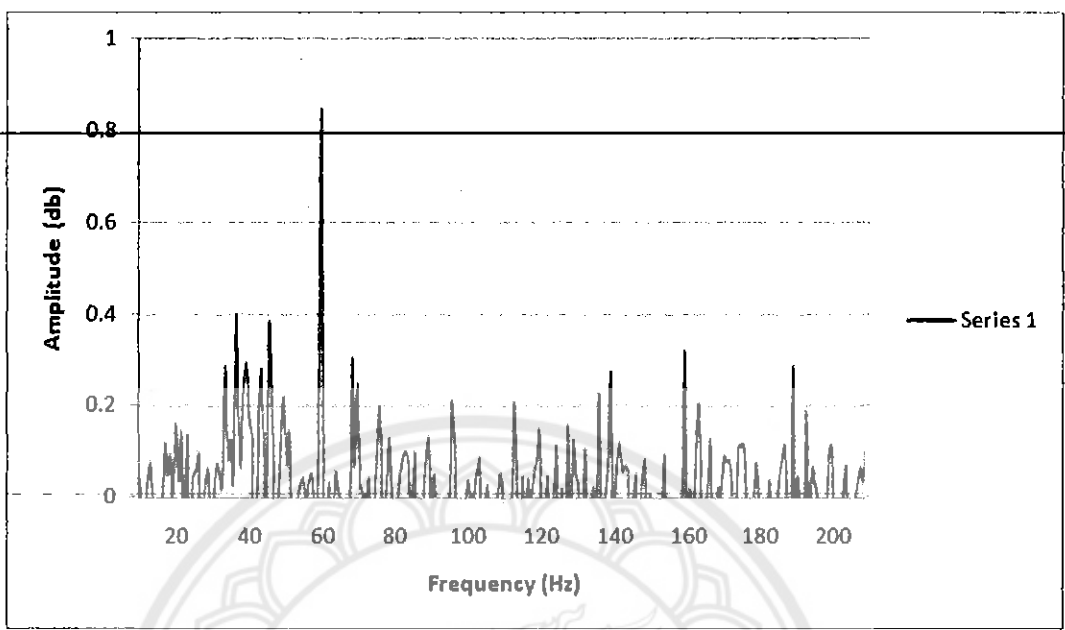


รูปที่ 4.66 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ โหลด 0% [4.66]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่  
0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.745

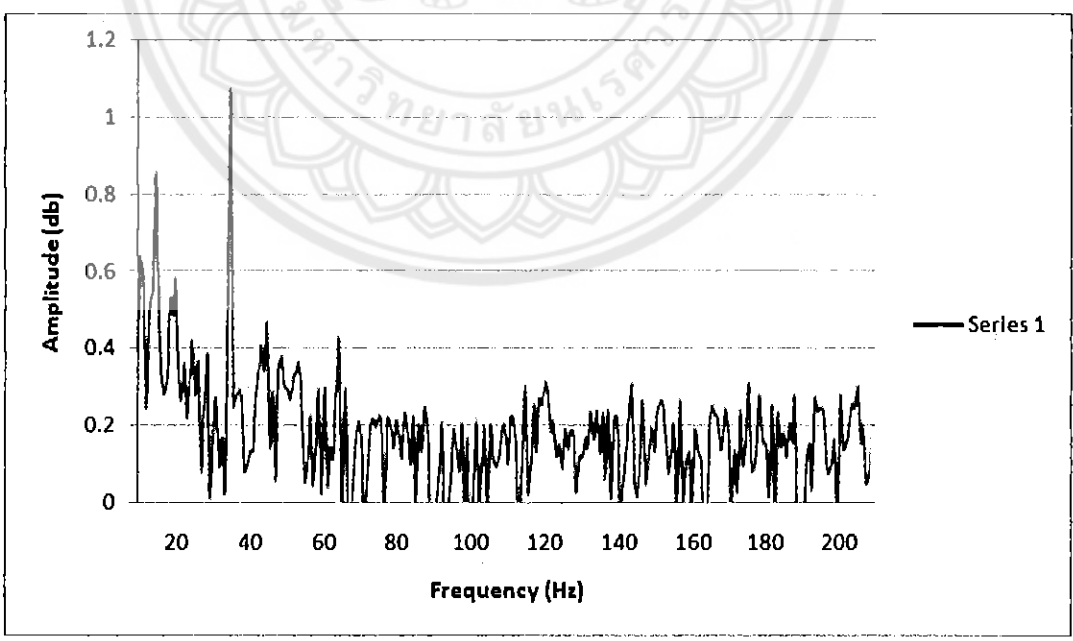


รูปที่ 4.67 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ โหลด 20% [4.67]

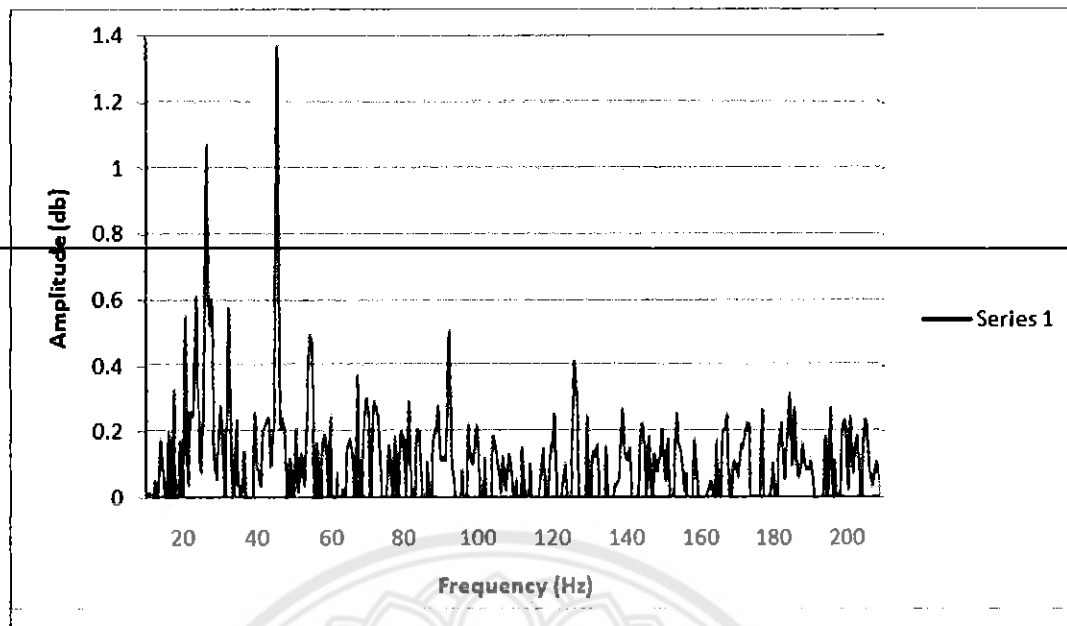
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.926



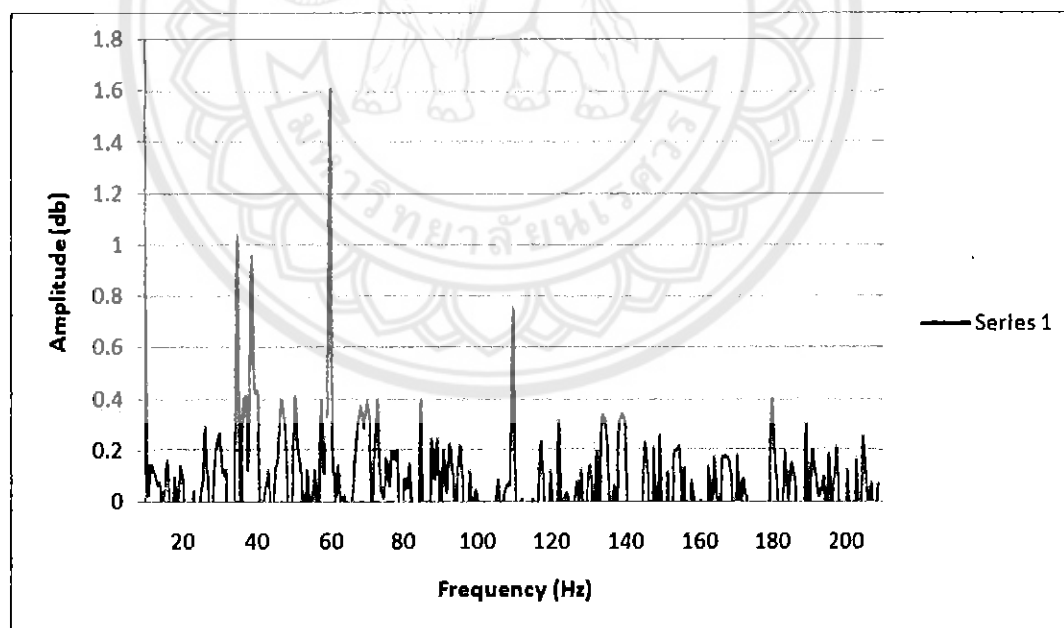
รูปที่ 4.68 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ โหลด 40%[4.68] เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.852



รูปที่ 4.69 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ โหลด 60%[4.69] เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.098



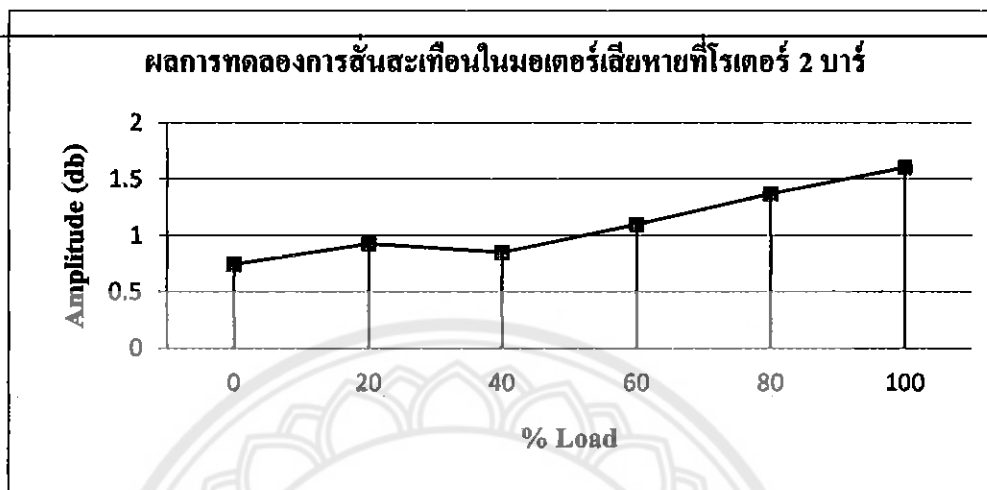
รูปที่ 4.70 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ โหลด 80%[4.70]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่  
80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.371



รูปที่ 4.71 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ โหลด 100%[4.71]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่  
100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.605



จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.745, 0.926, 0.852, 1.098, 1.371 และ 1.605 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้

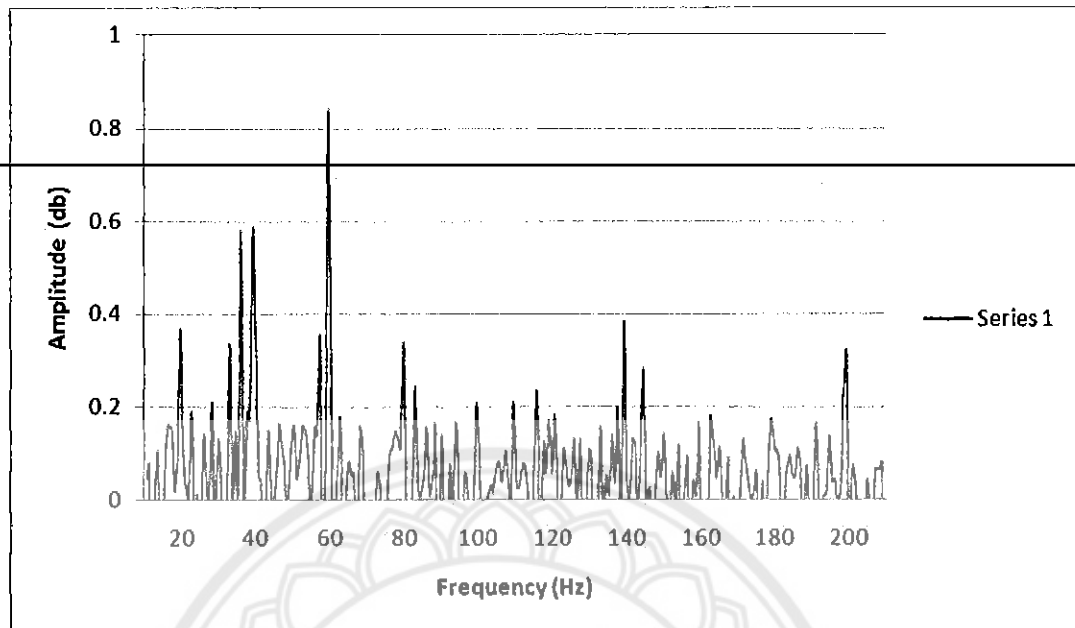


รูปที่ 4.72 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์

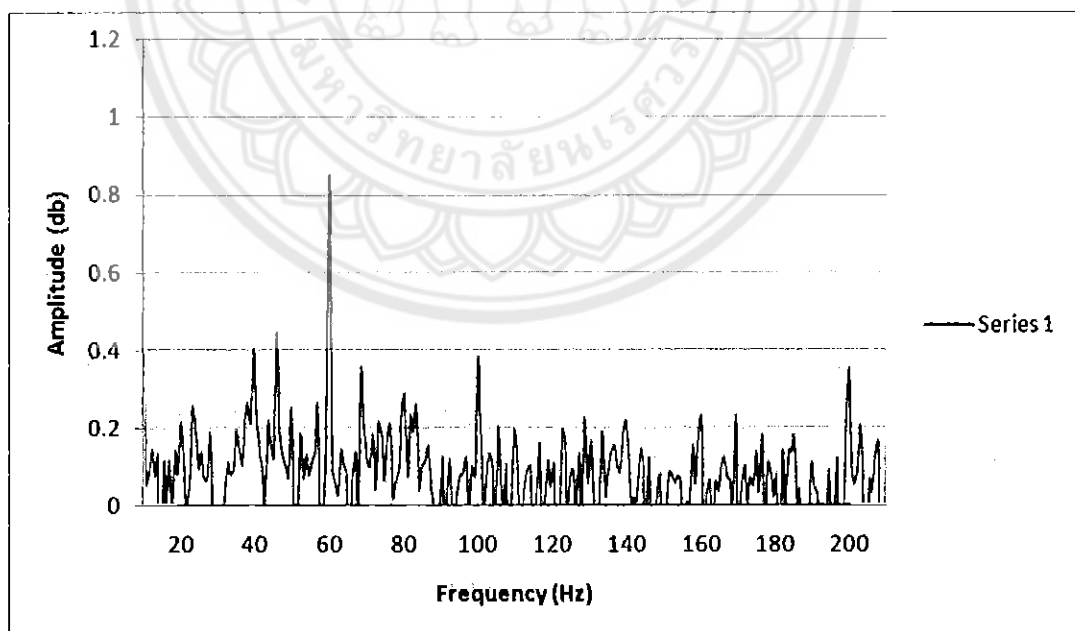
สถานะ โหลดต่างๆ [4.72]

จากกราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 2 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น

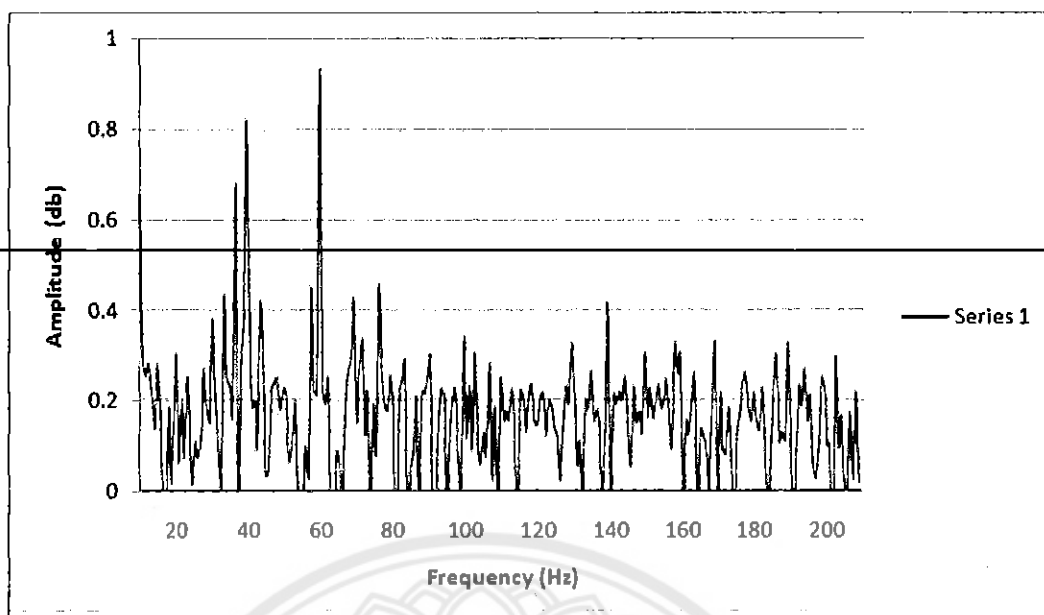
#### 4.3.4 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์



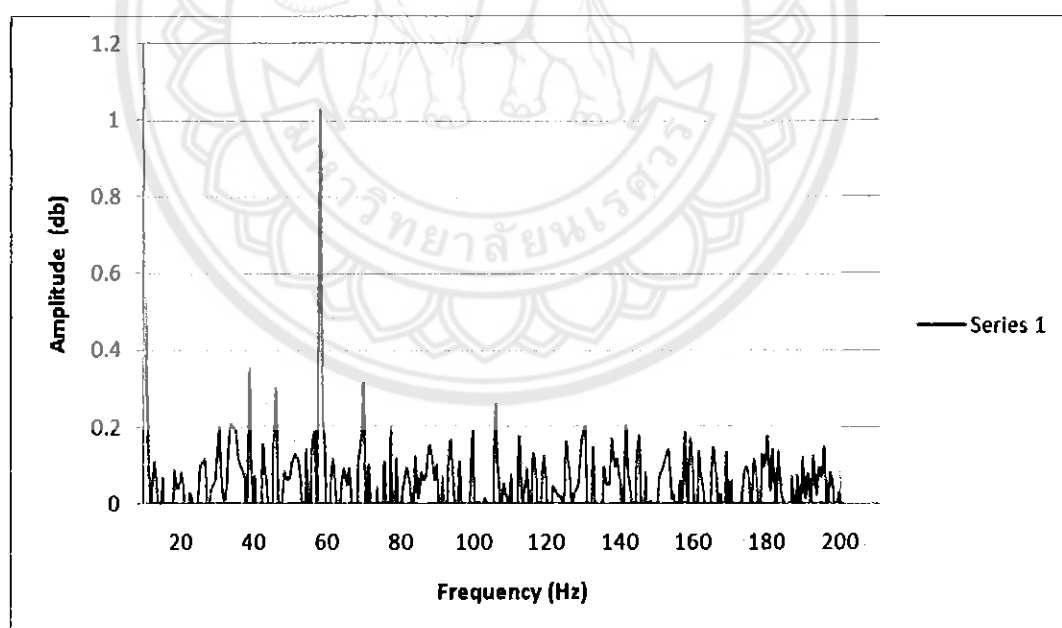
รูปที่ 4.73 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 0% [4.73]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.85



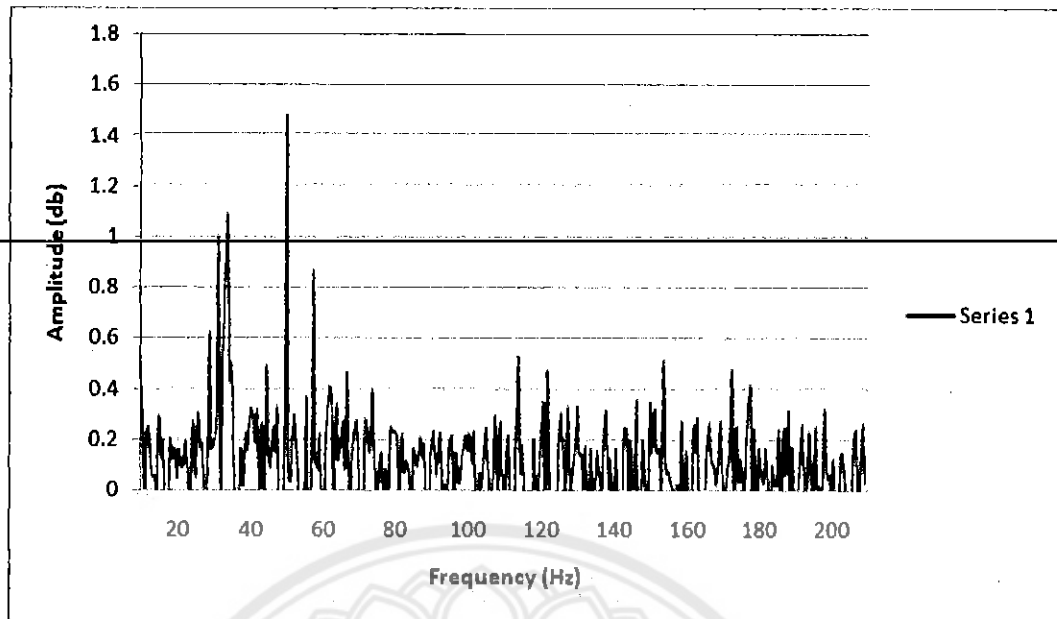
รูปที่ 4.74 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 20% [4.74]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.863



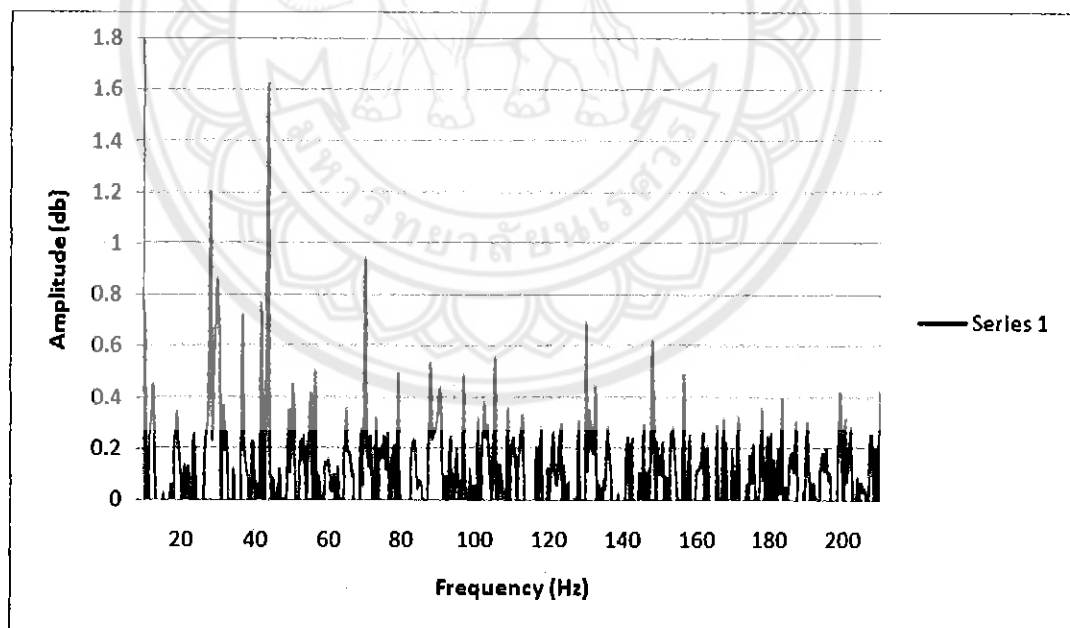
รูปที่ 4.75 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 40%[4.75]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่  
40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.927



รูปที่ 4.76 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 60%[4.76]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสี่ยหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่  
60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.041

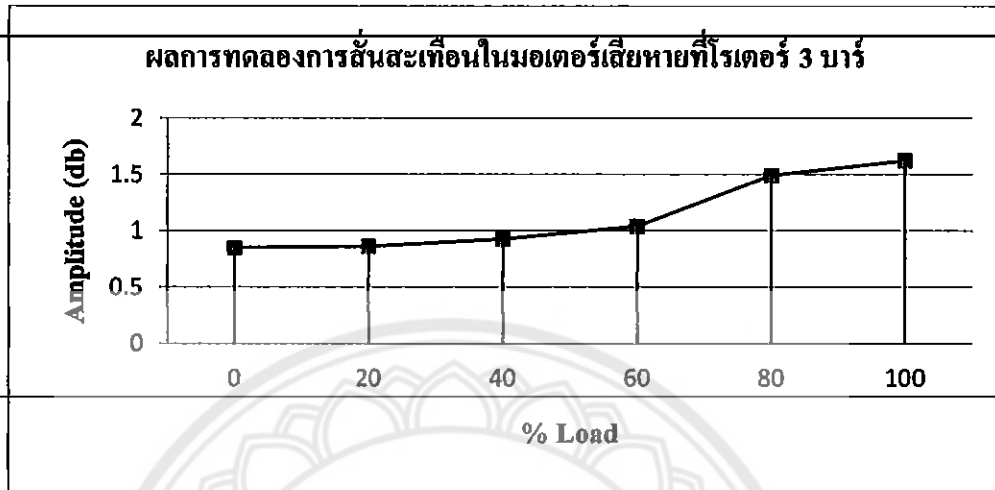


รูปที่ 4.77 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 80%[4.77]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.492



รูปที่ 4.78 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ โหลด 100%[4.78]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.623

จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.85, 0.863, 0.927, 1.041, 1.492 และ 1.623 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้

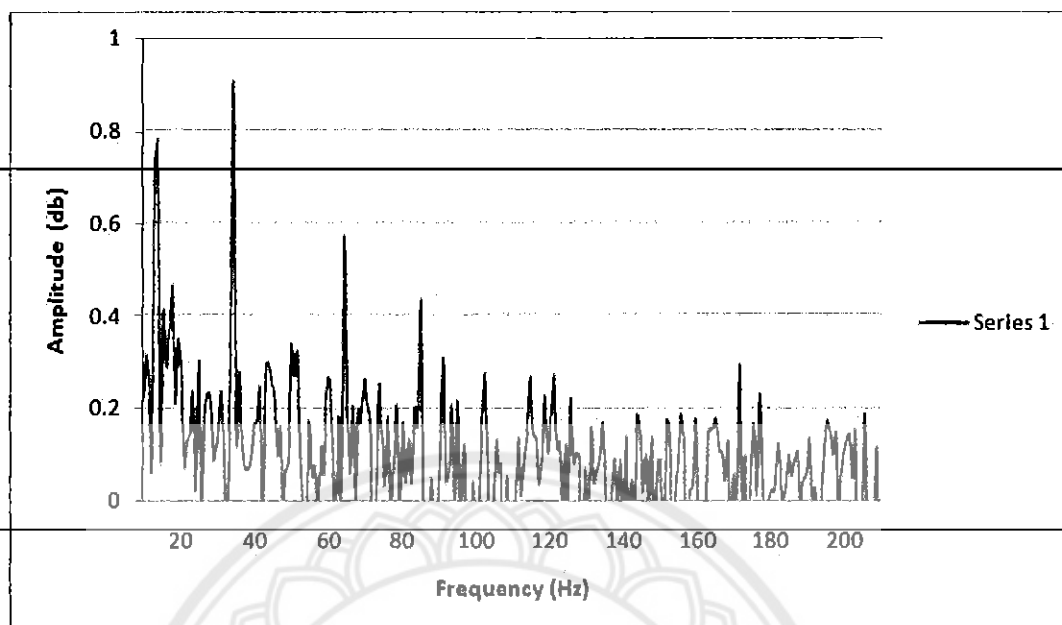


รูปที่ 4.79 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์

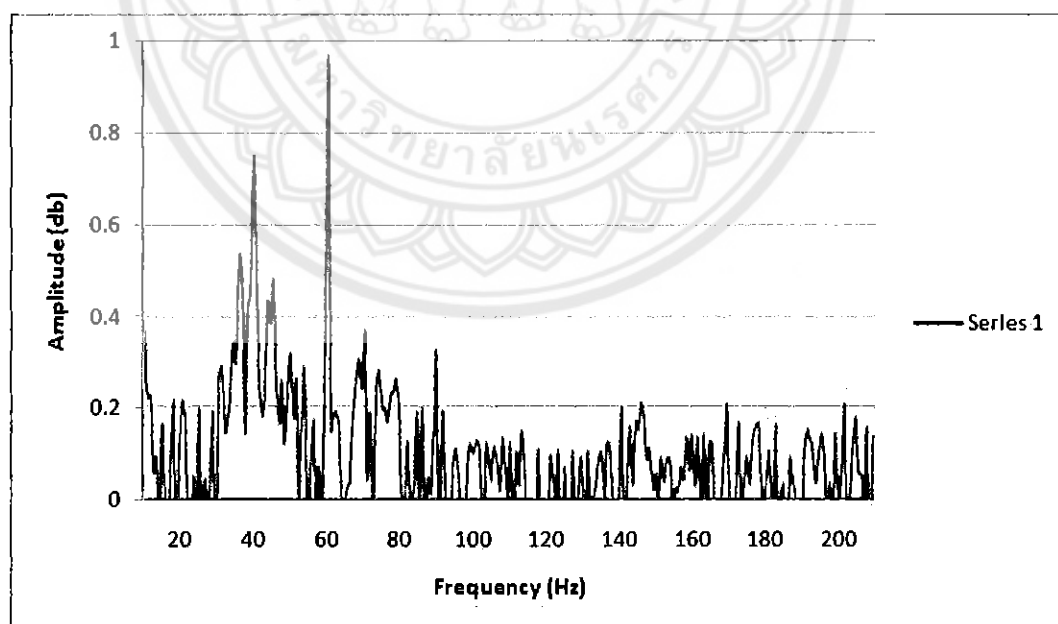
สถานะ โหลดต่างๆ [4.79]

จากกราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 3 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะ โหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย

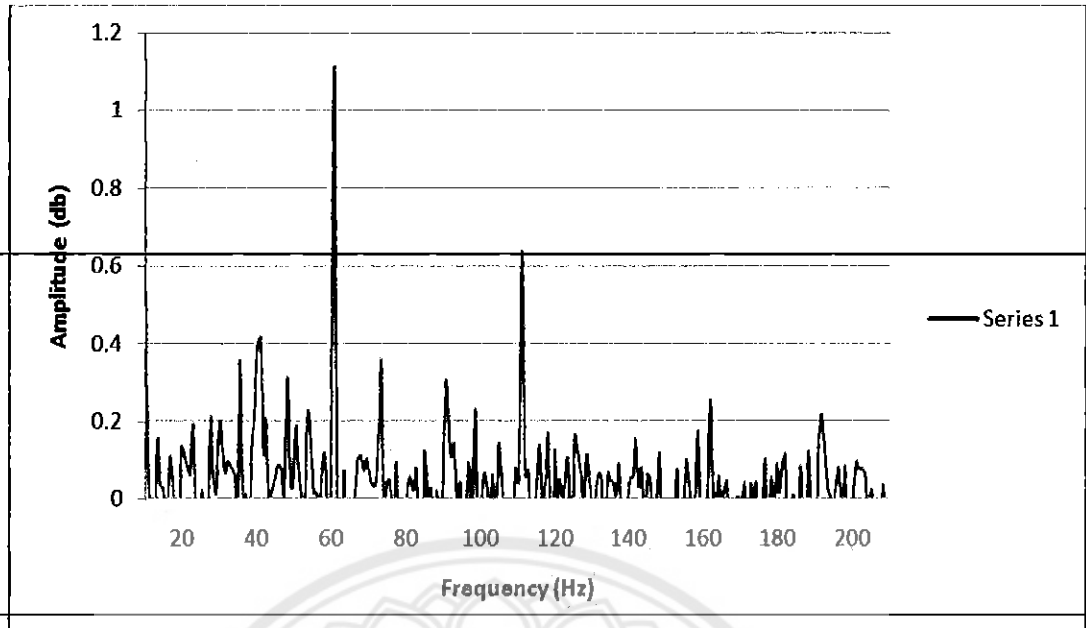
#### 4.3.5 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์



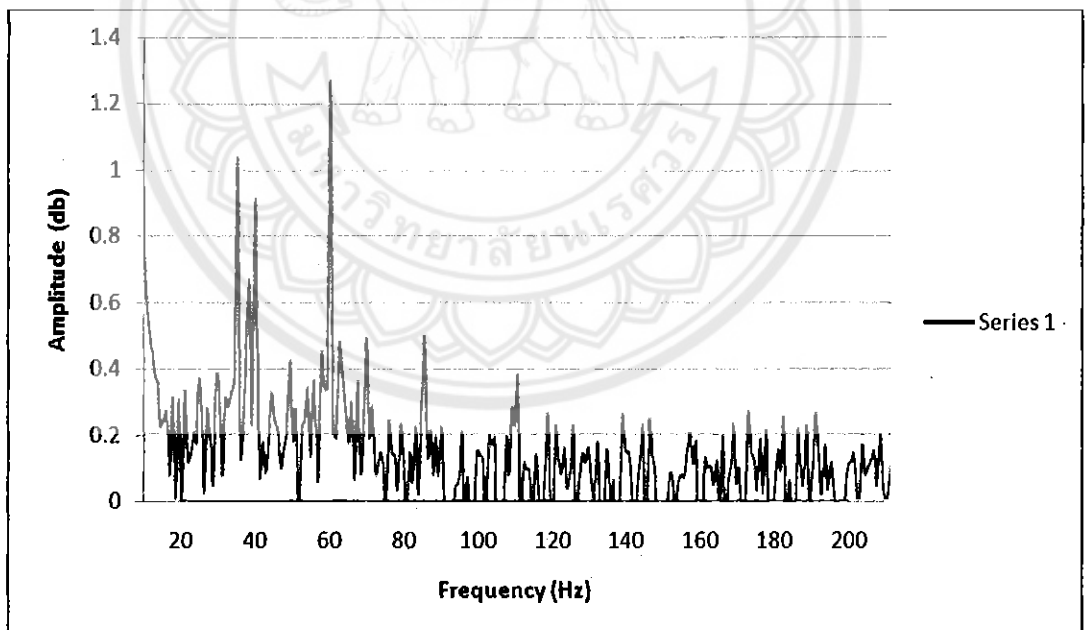
รูปที่ 4.80 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 0% [4.80]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.898



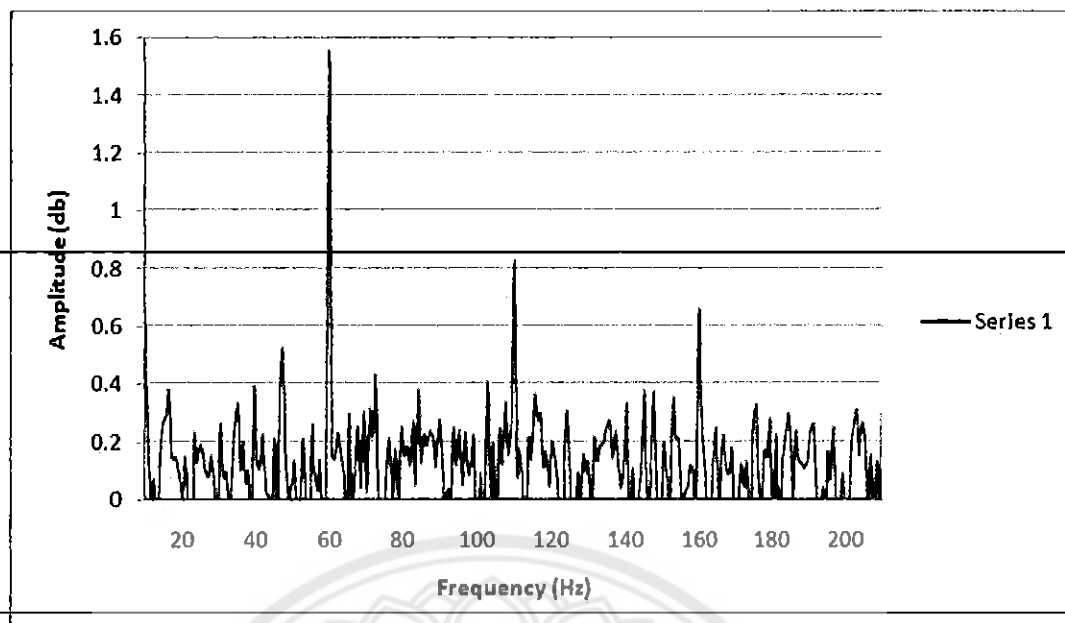
รูปที่ 4.81 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 20% [4.81]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.982



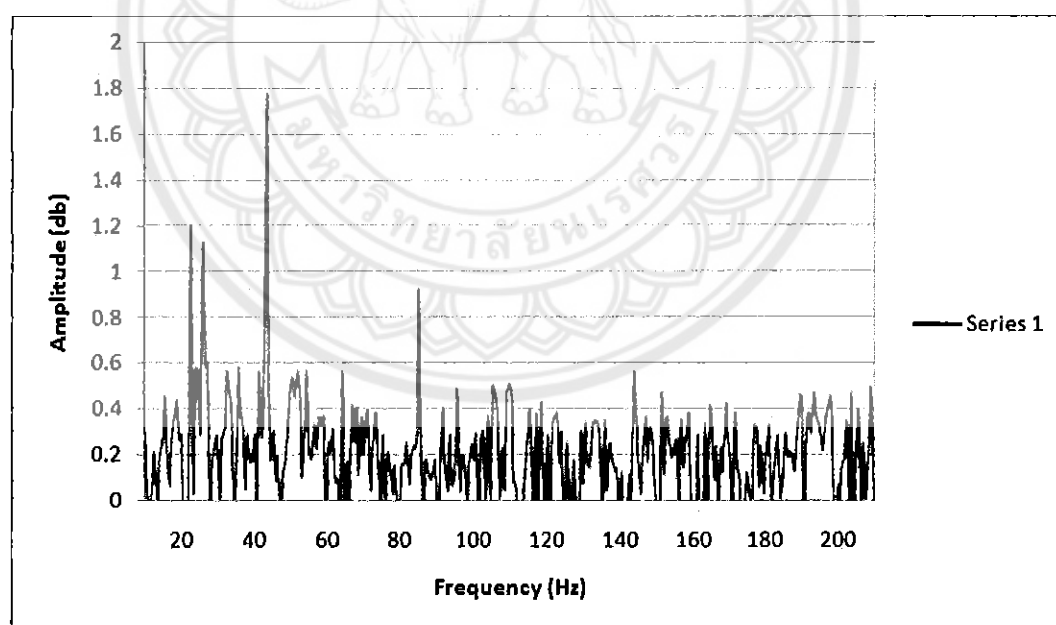
รูปที่ 4.82 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 40%[4.82]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่  
40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.12



รูปที่ 4.83 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 60%[4.83]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่  
60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าแอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.283



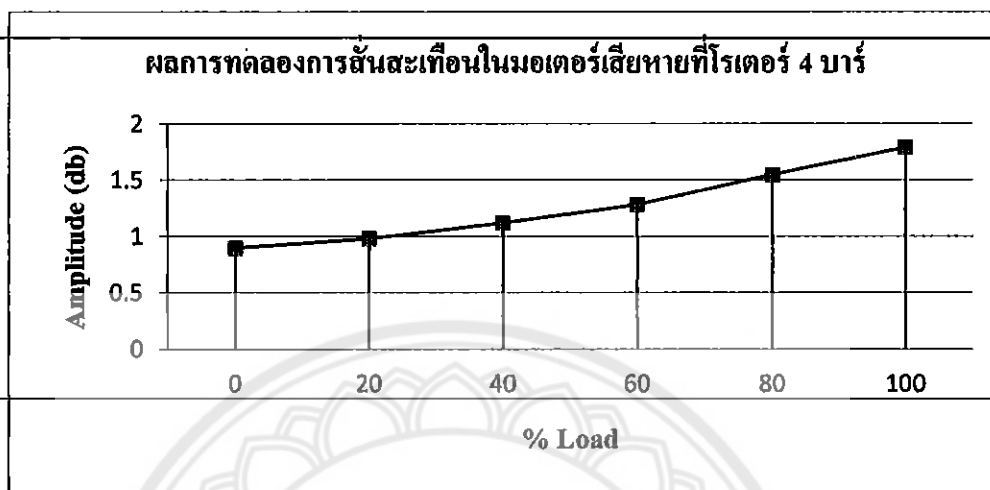
รูปที่ 4.84 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 80%[4.84]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่  
80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.549



รูปที่ 4.85 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ โหลด 100%[4.85]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่  
100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.791



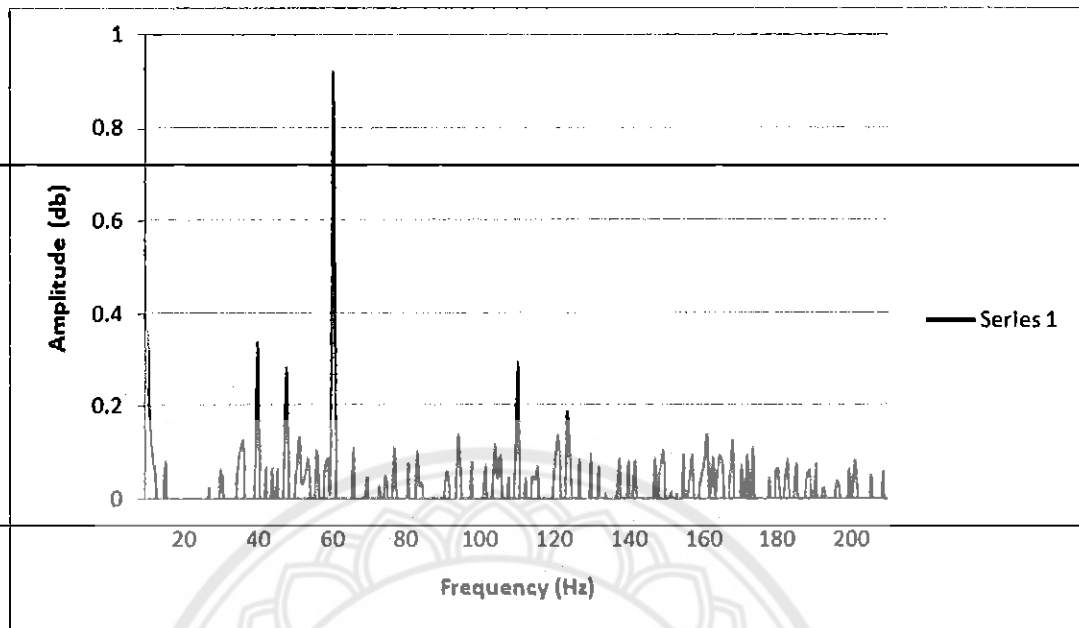
จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.898, 0.982, 1.12, 1.283, 1.549 และ 1.791 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



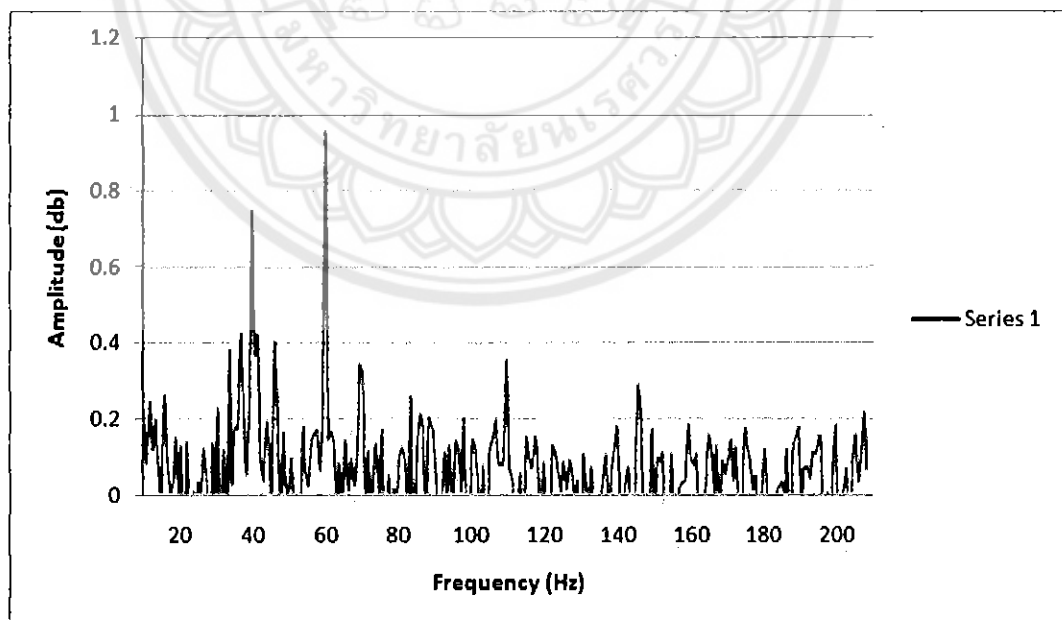
รูปที่ 4.86 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์  
สถานะโหลดต่างๆ [4.86]

จากกราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 4 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะโหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย

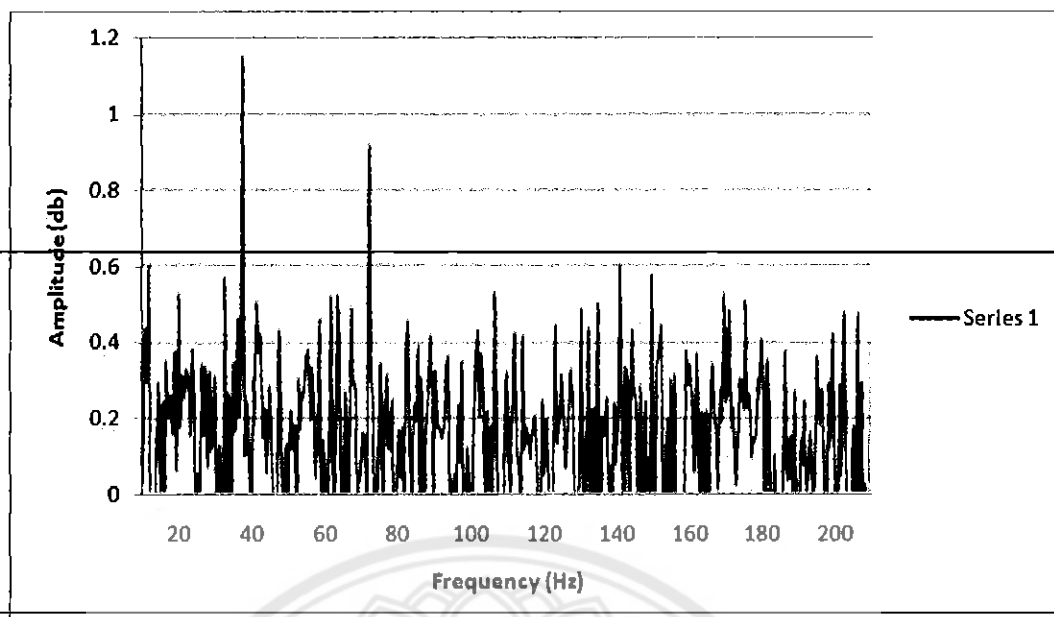
#### 4.3.6 ผลการทดลองการสั่นสะเทือน ที่มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์



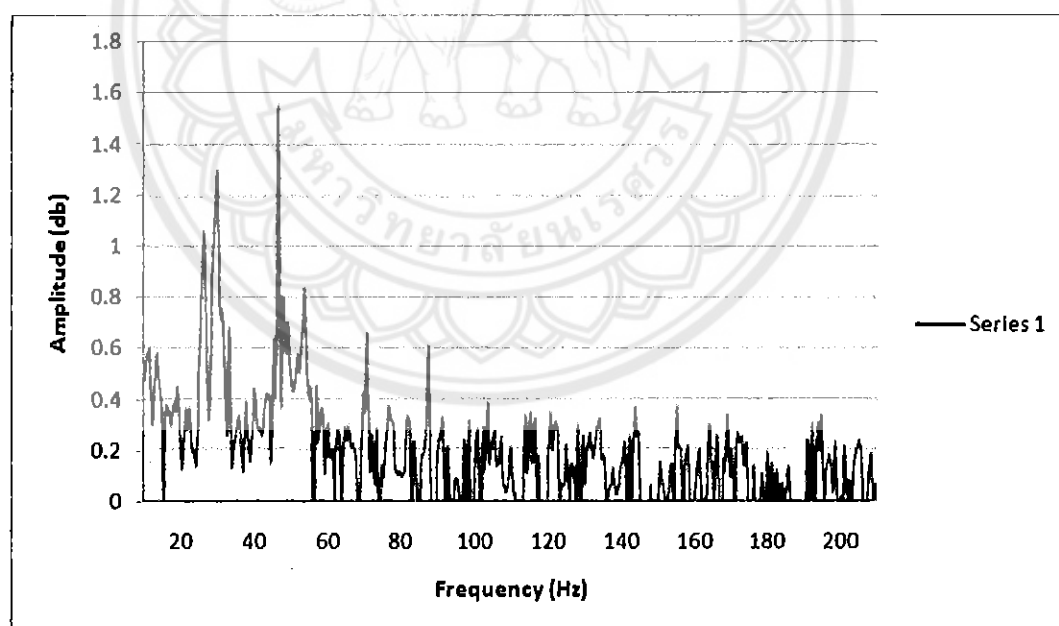
รูปที่ 4.87 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 0% [4.87]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.922



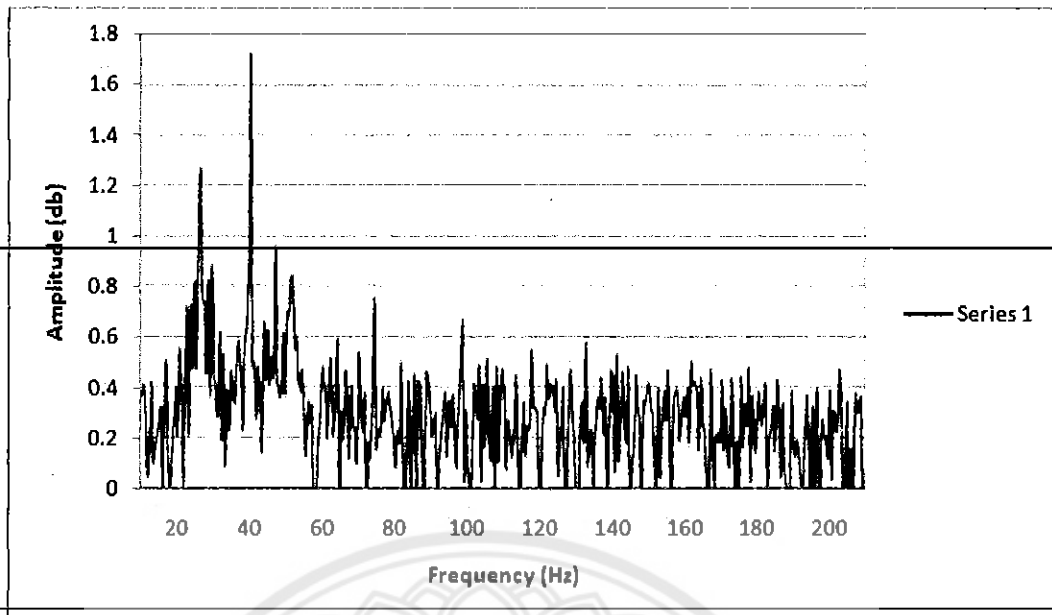
รูปที่ 4.88 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 20% [4.88]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วขับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 0.964



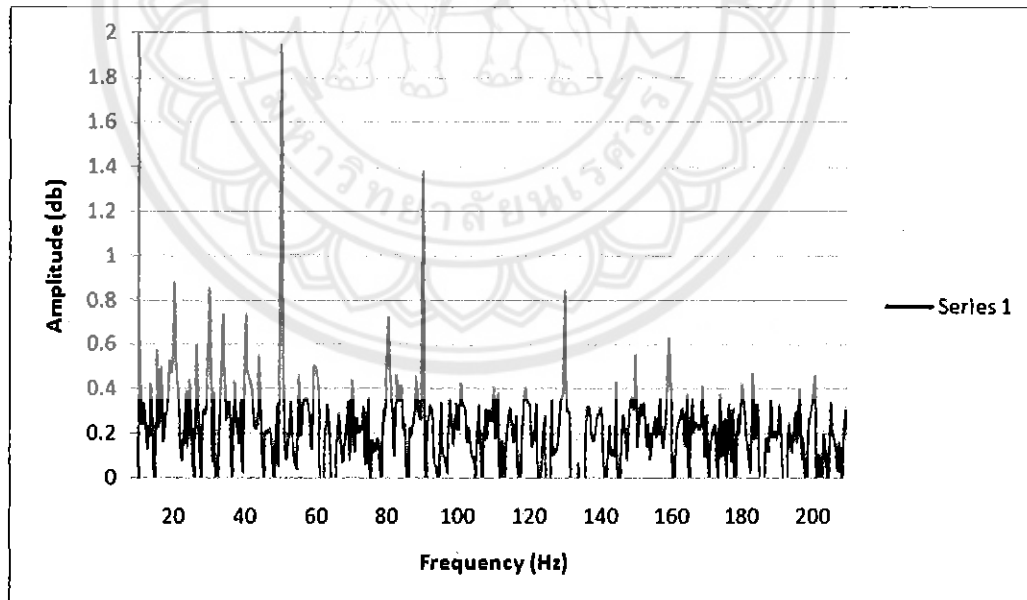
รูปที่ 4.89 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 40%[4.89]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่  
40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.142



รูปที่ 4.90 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 60%[4.90]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วจับภาระทางกลที่  
60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.562

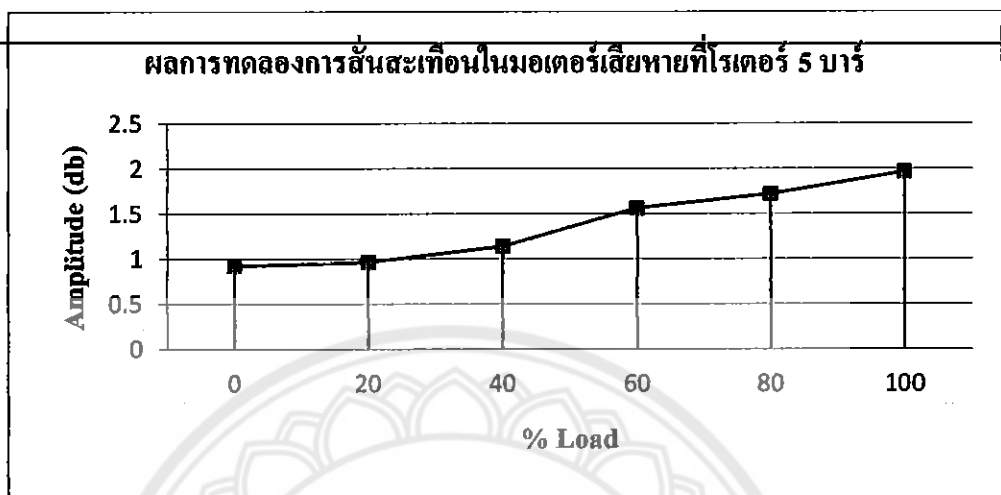


รูปที่ 4.91 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 80%[4.91]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่  
80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.721



รูปที่ 4.92 กราฟสเปกตรัมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ โหลด 100%[4.92]  
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ 220 V แล้วขั้วภาระทางกลที่  
100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า แอมพลิจูดสูงสุด ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 1.965

จากกราฟสเปกตรัมสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ ในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ 0.922, 0.964, 1.142, 1.562, 1.721 และ 1.965 ทำให้ได้กราฟผลการทดลอง ดังนี้



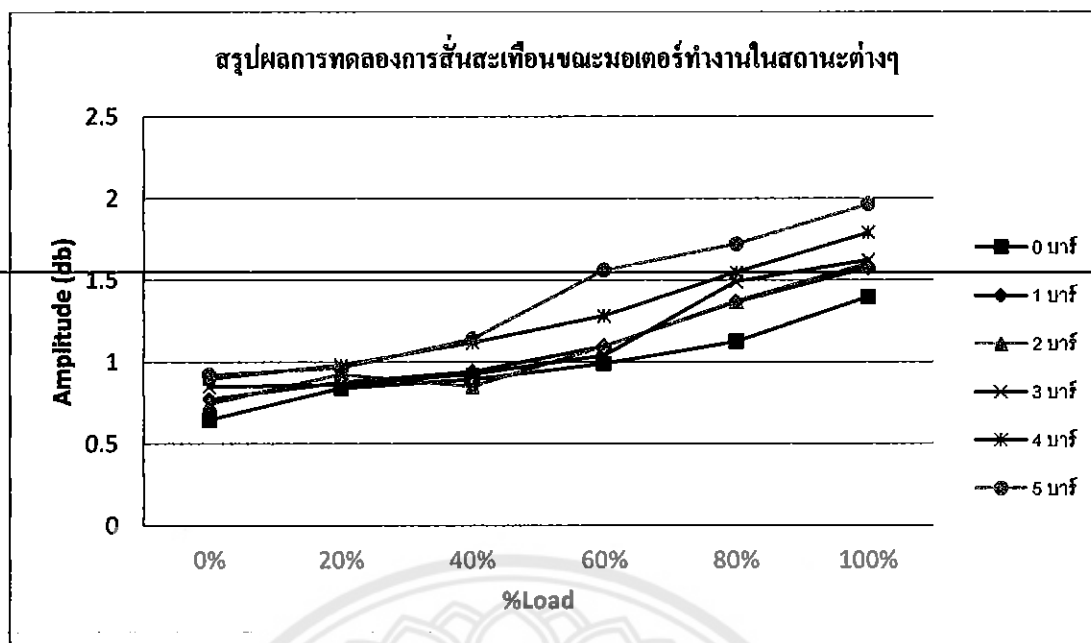
รูปที่ 4.93 กราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ สถานะ โหลดต่างๆ [4.93]

จากกราฟผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ 5 บาร์ การเพิ่มขึ้นของสถานะ โหลดต่างๆ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า แอมพลิจูด ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น คึว

จากผลการทดลองการสั่นสะเทือนในมอเตอร์ขณะทำงานในสถานะที่มอเตอร์ปกติ และเกิดความเสียหายที่โรเตอร์ 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์ และ 5 บาร์ ตามลำดับ และในสถานะโหลด 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลรวมของการทดลองการสั่นสะเทือนขณะมอเตอร์ทำงานในสถานะต่างๆ

	มอเตอร์ปกติ	เสีย 1 บาร์	เสีย 2 บาร์	เสีย 3 บาร์	เสีย 4 บาร์	เสีย 5 บาร์
0%	0.647	0.772	0.745	0.85	0.898	0.922
20%	0.841	0.877	0.926	0.863	0.982	0.964
40%	0.895	0.942	0.852	0.927	1.12	1.142
60%	0.989	1.097	1.098	1.041	1.283	1.562
80%	1.125	1.368	1.371	1.492	1.549	1.721
100%	1.398	1.576	1.605	1.623	1.791	1.965



รูปที่ 4.94 กราฟแสดงผลรวมการทดลองการสั่นสะเทือนมอเตอร์ขณะทำงาน[4.94]

จากการทดลองการวัดระดับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในสภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ต่างๆ จะได้กราฟสเปกตรัม ซึ่งค่า แอมพลิจูด ของกราฟสเปกตรัมที่ได้จะบ่งถึงความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้ ได้ทดสอบถึงการสั่นสะเทือน กราฟสเปกตรัมที่ได้มีค่า แอมพลิจูด ของกราฟเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โหลด ยิ่งเปอร์เซ็นต์โหลดมีค่ามาก ค่า แอมพลิจูด ที่ได้ก็มีค่ามากขึ้น และในขณะเดียวกันการเสียหายของมอเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อมี โหลดเพิ่มมากขึ้น เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น แล้วทำให้ระดับการสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์และการวิเคราะห์เสียงขณะมอเตอร์ทำงาน เป็นระยะเวลาดำเนิน โครงการงาน 2 ภาคการศึกษาทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการงาน พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป

#### 5.1 สรุปผลการทดลองการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

##### 5.1.1 มอเตอร์ปกติ

การเดินเครื่องมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล จะมีค่าความเร็วรอบคงที่การสั่นสะเทือนมีค่าหนึ่ง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด ส่งผลให้ความเร็วรอบและการสั่นสะเทือนมีการเปลี่ยนแปลง คือ สถานะโหลดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเร็วรอบและการสั่นสะเทือนสูงเพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือ โหลดมีผลกระทบต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

##### 5.1.2 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์

จากการทดลองเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ ที่มีความเสียหายที่บาร์โรเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์ และ 5 บาร์ ตามลำดับ พบว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์มีการทำงาน การสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเสียหายที่เกิดขึ้น และเมื่อทดลองเพิ่มสถานะทางกลหรือสถานะโหลดให้กับมอเตอร์ที่เสียหายที่โรเตอร์ ที่มีความเสียหายที่บาร์โรเตอร์ดังกล่าว โดยเพิ่มสถานะโหลด คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ผลคือการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามสถานะ โหลดที่มากกระทำ

จึงสรุปได้ว่า เมื่อมอเตอร์เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อมีสถานะทางกลหรือสถานะ โหลดเข้ามากระทำต่อมอเตอร์มากเท่าไร ก็จะมีส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ให้เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น และเป็นผลให้การทำงานของมอเตอร์มีประสิทธิภาพลดลง

## 5.2 สรุปผลการทดลองของเสียงขณะมอเตอร์ทำงาน

### 5.2.1 มอเตอร์ปกติ

จากการทดลองการวัดระดับเสียงขณะมอเตอร์ทำงานทั้งแบบมีภาระทางกลและแบบไร้สถานะทางกลพบว่า ขณะมอเตอร์ทำงานแบบไร้สถานะทางกลสัญญาณเสียงที่วัดได้มีระดับเสียงเบาเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของมอเตอร์ขณะมีภาระทางกล และยังเพิ่มโหลดให้มอเตอร์มากขึ้นพบว่าสัญญาณเสียงที่ออกมามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลกระทบต่างๆ ทำให้เกิดสัญญาณเสียงที่แตกต่างกันออกมา

### 5.2.2 มอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์

จากการทดลองเสียงที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ ที่มีความเสียหายที่บาร์โรเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 1 บาร์, 2 บาร์, 3 บาร์, 4 บาร์ และ 5 บาร์ ตามลำดับ พบว่าค่าแอมพลิจูดของเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์มีภาระทำงาน แอมพลิจูดของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเสียหายที่เกิดขึ้น และเมื่อทดลองเพิ่มสถานะทางกลหรือสถานะ โหลดให้กับมอเตอร์เสียหายที่โรเตอร์ ที่มีความเสียหายที่บาร์โรเตอร์ดังกล่าว โดยเพิ่มสถานะ โหลด คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ผลคือการแอมพลิจูดของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นตามสถานะ โหลดที่มากกระทำ

จึงสรุปได้ว่า เมื่อมอเตอร์เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น เสียงของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นก็มีค่าเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อมีสถานะทางกลหรือสถานะ โหลดเข้ามากระทำต่อมอเตอร์มากเท่าไร ก็จะมีส่งผลกระทบต่อค่าแอมพลิจูดของเสียงที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ให้เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น และเป็นผลให้การทำงานของมอเตอร์มีประสิทธิภาพลดลง

## 5.3 การประเมินผลการทดลอง

จากการดำเนินงาน โครงการงานเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

5.3.1 สามารถคำนวณทอร์คได้ จากการวัดทอร์คที่ภาระทางกลมีค่า 100% โดยการนำค่าพิกัดกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสมาใช้ในการอ้างอิง เพื่อวัดค่ากระแสและการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ตามค่าภาระทางกลต่างๆ

5.3.2 สามารถบันทึกผลและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการพิจารณาเสียง คือ สถานะเสียงของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสในสถานะรูปสัญญาณเสียง ค่าแอมพลิจูดของเสียงในสถานะภาระทางกล 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% และในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล

5.3.3 สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า เสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสในสถานะภาระทางกล 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% และในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล



5.3.4 สามารถบันทึกผลและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการสั้นสะเทือนของมอเตอร์ได้ คือ ค่าการสั้นสะเทือนของมอเตอร์ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสในสภาวะภาระทางกล 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% และในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกล

5.3.5 สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการสั้นสะเทือนของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสในสภาวะภาระทางกล 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% และในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกล

## 5.4 ปัญหาและการแก้ไข

5.4.1 ปัญหาเกิดจาก มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองเดินเครื่องนานไม่ได้ เนื่องจากมอเตอร์จะเกิดความร้อน จึงต้องบันทึกค่าด้วยความรวดเร็วในช่วงที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเดินเครื่องเพื่อป้องกันมอเตอร์เสียหาย

5.4.2 ปัญหาเกิดจาก ปัญหาคอนทักของมอเตอร์ก่อนทำการทดลอง เนื่องจากเมื่อเดินเครื่องมอเตอร์จะทำให้เกิดความร้อน แล้วค่าความร้อนของมอเตอร์ค่อยๆ ลดลง ต้องให้มอเตอร์มีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิของมอเตอร์ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง จึงต้องพักมอเตอร์เป็นช่วงๆ ทำให้การทดสอบใช้เวลานาน

5.4.3 ในการเริ่มเดินมอเตอร์ใหม่ทุกครั้งจะต้องทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิเท่ากับทำให้ใช้เวลานาน

5.4.4 ในการปรับกระแสเป็นแบบหมุนทำให้ได้กระแสในแต่ละครั้งต่างกันเล็กน้อย

5.4.5 ปัญหาเกิด เสียงรบกวนภายนอก ต้องสร้างกล่องเก็บเสียง โดยผนังของกล่องบุด้วย ฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ค่าของ เสียงเกิดการคลาดเคลื่อน ในการทดสอบเรื่องเสียง

5.4.6 ปัญหาเกิดจาก อุปกรณ์ในการทดลองมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีทำให้ได้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

## 5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 ควรหาตัวช่วยในการระบายความร้อนของมอเตอร์ เช่น พัดลม มาช่วยในการระบายความร้อน เพื่อให้ใช้เวลาได้น้อยลง

5.5.2 ก่อนเริ่มเดินมอเตอร์ต้องตรวจสอบอุณหภูมิของมอเตอร์ให้เท่ากันทุกครั้ง

5.5.3 ควรใช้มอเตอร์ 2 ตัวที่ของขนาดพิกัดเท่ากัน ทำงานเพื่อนช่วยให้ทดลองได้เร็วขึ้น

5.5.4 ควรใช้เครื่องมือที่เป็นแบบดิจิทัลเพื่อให้การจดค่าต่างๆ ไม่คลาดเคลื่อน

## 5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการศึกษาและทดลองในโครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ ซึ่งในโครงการนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับ เสี่ยงของมอเตอร์ เพื่อความปลอดภัยจากอันตรายจากเสียง ที่มีผลกระทบต่อการได้ยินของมนุษย์ และเพื่อศึกษาความเสียหายของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ผิดปกติ และผลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการสันสะเทือนของมอเตอร์ นั้นเพื่อให้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาการเลือกขนาดและการควบคุมมอเตอร์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัดพลังงาน การสันสะเทือนอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ไม่สูงเกินกำลังของมอเตอร์ และเพื่อลดต้นทุน เพื่อให้เป็นแนวทางในการออกแบบโรงงานอุตสาหกรรม



## เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.เดช พุทธเจริญทอง.การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน(Vibration Analysis). กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ,2548

[2] ประดิษฐ์ หมู่มืองสอง และสุชฌาน ทรราชสุข. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน(Vibration Analysis).กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2550.

[3] ดร.นิวัตร มุลป่า. การสั่นสะเทือนเชิงกล(Mechanical Vibration).เชียงใหม่:โชตนาพรีน,2554

[4] มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส (A.C. Single Phase).

แหล่งที่มา:<http://webserv.kmitl.ac.th/.php>. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2556

[5] การวิเคราะห์ความผิดปกติในมอเตอร์.

แหล่งที่มา:<http://www.tgipmt.com/en/articles/motor/16/print> สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2556

[6] มอเตอร์ไฟฟ้า. แหล่งที่มา:[eng.sut.ac.th/me/meold/3\\_2551/435330/sut.ppt](http://eng.sut.ac.th/me/meold/3_2551/435330/sut.ppt)

สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2556



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวนชากาญจน์ อ้นสาย  
 ภูมิลำเนา 64/10 หมู่ 5 ต.เกาะตาเลี้ยง อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย 64120  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุดมครุณี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : [nacha\\_nikky@hotmail.com](mailto:nacha_nikky@hotmail.com)



ชื่อ นายเอกพจน์ เดชบุญ  
 ภูมิลำเนา 264 หมู่ 1 ต.ห้วยแก้ว อ.ภูพานขาว จ.พะเยา 56000  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนดงเจนวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : [makinjung\\_1911@hotmail.com](mailto:makinjung_1911@hotmail.com)